الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1796-3

(2022/02)

الخصائص ومعايير الحماية للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي في نطاق التردد MHz 10 680-8 500

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

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، 2022

© ITU 2022

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

التوصية ITU-R M.1796-3

الخصائص ومعايير الحماية للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوية في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz

(2022-2014-2012-2007)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير الحماية لأنظمة الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz. وقد وضعت بغرض دعم دراسات التقاسم بالاقتران مع التوصية ITU-R M.1461 التي تتناول إجراءات التحليل لتقرير الملاءمة بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي وفي الخدمات الأخرى.

المصطلحات الأساسية

رادار، معايير الحماية، رادار البحث، تداخل، استدلال راديوي

المختصرات/المفردات

AESA صفيف نشط إلكتروني المسح *(Active electronically scanned array)*

AIS نظام تعرف أوتوماتي *(Automatic identification system)*

ASDE أجهزة كشف سطح المطار *(Airport surface detection equipment)*

BW عرض الحزمة *(Beamwidth)*

CDMA النفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة *(Code division multiple access)*

CFAR معدل الإنذارات الخاطئة الثابتة *(Constant-false-alarm-rate)*

CPI فواصل المعالجة المتماسكة *(Coherent processing intervals)*

CW الموجة المستمرة *(Continuous wave)*

DAA الكشف والتفادي *(Detect-and-avoid)*

DBS شحذ حزمة دوبلر *(Doppler beam sharpening)*

FET ترانزيستور بتأثير المجال *(Field-effect transistor)*

FMCW الموجة المستمرة المشكلة بالتردد *(Frequency modulated continuous wave)*

FTC ثابت الزمن السريع *(Fast-time-constant)*

GCA اقتراب بتحكم أرضي *(Ground-controlled approach)*

GPS النظام العالمي لتحديد الموقع *(Global positioning system)*

IF الإشارة المسببة للتداخل *(Interfering signal)*

IMO المنظمة البحرية الدولية (*International Maritime Organization*)

IMPATT تأثير الوقت للانتقالي للانهيارات الإلكترونية *(Impact avalanche transit time)*

I/N	النسبة تداخل إلى ضوضاء *(Interference-to-noise)*
LFM	تشكيل التردد الخطي *(Linear frequency modulation)*
MGM	الرسم أحادي النبضة لخريطة الأرض *(Monopulse ground mapping)*
NF	عامل الضوضاء *(Noise figure)*
nmi	أميال بحرية *(Nautical miles)*
PPI	مؤشر الموقع المخطط *(Planned position indicator)*
pps	نبضات في الثانية (*pulses per second*)
PRF	تردد تكرار النبضة *(Pulse reputation frequency)*
RCS	المقطع العرضي للأشعة الرادارية *(Radar cross-section)*
RF	التردد الراديوي *(Radio-frequency)*
rpm	عدد اللفات في الدقيقة *(revolutions per minute)*
SAR	رادار ذو فتحة تركيبية *(Synthetic-aperture radar)*
SL	الفص الجانبي *(Side-lobe)*
SNR	النسبة إشارة إلى ضوضاء *(Signal-to-noise ratio)*
STC	التحكم الزمني في الحساسية *(Sensitivity-time-control)*
SART	المرسل المستجيب للبحث والإنقاذ *(Search and rescue transponder)*
UA	الطائرات بدون طيار *(Unmanned aircraft)*
WA	تجنب أخطار الطقس *(Weather avoidance)*
WS	كشف قص الريح *(Wind-shear detection)*

توصيات وتقارير الاتحاد ذات الصلة

التوصيات:

ITU-R M.628	الخصائص التقنية للمرسلات المستجيبات الرادارية المخصصة للبحث والإنقاذ
ITU-R M.824	المعلمات التقنية للمنارات الرادارية
ITU-R M.1176	معلمات تقنية لمعززات أهداف الرادار
ITU-R M.1372	الاستعمال الفعّال للطيف الراديوي في المحطات الرادارية لخدمة الاستدلال الراديوي
ITU-R M.1461	إجراءات تحديد احتمالات التداخل بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي وأنظمة الخدمات الأخرى
ITU-R M.1849	الجوانب التقنية والتشغيلية لرادارات الأرصاد الجوية المنصوبة على الأرض
ITU-R M.1851	نماذج رياضية لمخططات هوائيات أنظمة الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي يتعين استخدامها في الدراسة التحليلية للتداخل

التقارير

ITU-R M.2204 الخصائص واعتبارات الطيف لأغراض أنظمة الاستشعار والتجنّب المستخدمة في أنظمة الطائرات بدون طيار (UAS)

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن خصائص الهوائي وانتشار الإشارة وكشف الأهداف وعرض النطاق اللازم التي تتيح للرادارات القيام بوظائفها هي الأمثل في بعض نطاقات التردد؛

ب) أن الخصائص التقنية لرادارات الاستدلال الراديوي محددة في أهداف النظام وتختلف كثيراً حتى داخل نطاق التردد الواحد؛

ج) أن قطاع الاتصالات الراديوية يبحث إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة أو الخدمات في نطاقات التردد الواقعة بين 420 MHz و34 GHz التي تستعملها الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي؛

د) أن الخصائص التقنية والتشغيلية المميزة للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي مطلوبة، عند الضرورة، لتحديد إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة في نطاقات التردد الموزعة على خدمة الاستدلال الراديوي،

وإذ تلاحظ

أ) أن الخصائص التقنية والتشغيلية للمنارات الراديوية البحرية العاملة في نطاق التردد 300 9-500 9 MHz واردة في التوصية ITU-R M.824؛

ب) أن المعلمات التقنية لمعززات أهداف الرادار التي تعمل في نطاق التردد 300 9-500 9 MHz واردة في التوصية ITU-R M.1176؛

ج) أن الخصائص التقنية والتشغيلية للمرسلات المستجيبات الرادارية المخصصة للبحث والإنقاذ (SART) والعاملة في نطاق التردد 200 9–500 9 MHz واردة في التوصية ITU-R M.628،

وإذ تضع في اعتبارها كذلك

أ) أن معايير الحماية المطلوبة تتوقف على الأنماط المحددة من إشارات التداخل؛

ب) أن تطبيق معايير الحماية يمكن أن يتطلب النظر في إدراج الطابع الإحصائي لتطبيق هذه المعايير وغير ذلك من عناصر المنهجية لإجراء دراسات الملاءمة (أي خسارة مسير الانتشار). وأن زيادة تطوير هذه الاعتبارات الإحصائية قد يدرج في مراجعات مقبلة لهذه التوصية إلى جانب احتمال الكشف المطلوب عن مختلف السيناريوهات التشغيلية البحرية، حسب الاقتضاء،

توصي

1 بأن تعتبر الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الاستدلال الراديوي الوارد وصفها في الملحق 1، خصائص مميزة للأنظمة العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz؛

2 بأن تُراعى هذه التوصية إلى جانب التوصية ITU-R M.1461 عند تحليل المواءمة بين رادارات الاستدلال الراديوي وأنظمة الخدمات الأخرى؛

3 بأن يُعتبر معيار نسبة قدرة الإشارة المسببة للتداخل إلى مستوى قدرة الضوضاء الناجمة عن مستقبل الرادار، أي النسبة تداخل إلى ضوضاء (I/N) البالغة −6 dB، بمثابة مستوى الحماية المطلوب لأغراض رادارات الاستدلال الراديوي في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz، حتى في حال وجود عدة مصادر مسببة للتداخل (انظر الملحق 2)؛

4 بأن تُراعى أيضاً نتائج الاختبارات المنجزة لقابلية التأثر بالتداخل على رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن والعاملة في نطاق التردد 200 9-500 9 MHz، والواردة في الملحق 3، في تقييم التداخل في رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن، علماً بأن النتائج تتناول أهدافاً غير متقلبة وأن تقلبات المجال المتقاطع للرادارات (RCS) ينبغي أن تُؤخذ في الحسبان.

الملحق 1

الخصائص التقنية والتشغيلية للرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz

1 مقدمة

تُعرض خصائص رادارات الاستدلال الراديوي العاملة على الصعيد العالمي في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz في الجداول 1 و2 و3 و4 ويرد وصفها بمزيد من التفصيل في الفقرات التالية.

2 الخصائص التقنية

يُستعمل نطاق التردد 500 8-680 10 MHz من قبل العديد من الأنماط المختلفة للرادارات، المقامة على الأرض أو القابلة للنقل أو المحمولة على متن السفن أو المحمولة جواً. وتشمل وظائف الاستدلال الراديوي التي تؤدى في هذا النطاق: البحث في الجو وعلى الأرض، ورسم خرائط للأرض، وتتبع تضاريس الأرض، والملاحة (الجوية والبحرية على السواء)، والتعرّف على الأهداف، والأرصاد الجوية (المحمولة جواً والقائمة على الأرض على السواء). وتشمل الفوارق الهامة بين الرادارات: دورات خدمة الإرسال، وعروض نطاق البث، ووجود تشكيل داخل النبضة وأنماطه، وقدرات بعضها من حيث مرونة الترددات، وذروة ومتوسط قدرة المرسل، وأنماط أجهزة إرسال التردد الراديوي ذات القدرة العالية. ولهذه الخصائص كلها، فرادى ومجتمعة، دور كبير في ملاءمة الرادارات مع أنظمة أخرى في بيئتها، في حين أن للخصائص الأخرى أثراً أقل على تلك الملاءمة. ويمكن افتراض أن ترددات تشغيل الرادار تنتشر بانتظام عبر نطاق تردد توليف كل رادار. وترد في الجداول 1 و2 و3 و4 الخصائص التقنية لرادارات مميزة للتحديد الراديوي للموقع وللملاحة الراديوية المنشورة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz، باستثناء رادارات الأرصاد الجوية المقامة على سطح الأرض التي ترد في التوصية ITU-R M.1849.

وتُستعمل الرادارات الرئيسية للتحديد الراديوي للموقع العامل في نطاق التردد هذا، في المقام الأول للكشف عن الأجسام المحمولة جواً. إذ يتوجب عليها قياس ارتفاع الهدف وبُعده واتجاهه الزاوي. وبعض الأجسام المحمولة جواً صغيرة وبعضها الآخر يقع على مسافة 300 ميل بحري (~ 556 km)، وبالتالي يجب أن تتوفر في رادارات التحديد الراديوي للموقع بحساسية شديدة وقدرة كبيرة على إخماد جميع أشكال عودة الجلبة بما في ذلك الآتية من البحر أو الأرض أو بسبب هطول الأمطار. وفي بعض الحالات، يتطلّب البث الراداري في نطاق التردد هذا إطلاق منارات راديوية.

وبسبب متطلبات البث هذه إلى حد كبير، تميل الرادارات التي تستعمل نطاق التردد هذا إلى الاتصاف بالخصائص العامة التالية:

- تميل إلى امتلاك لها ذروة ومتوسط قدرة إرسال منخفضة إلى متوسطة (من 1 W إلى 000 250 W)، مع بعض الاستثناءات الملحوظة؛
- تستعمل عادة مرسلات مضخمة القدرة بمذبذب رئيسي بدلاً من مذبذبات القدرة. وتكون عادة قابلة للتوليف وبعضها يتسم بمرونة التردد. ويستعمل بعضها التشكيل الخطي – أو اللاخطي – FM (الزقزقي) أو التشكيل بين النبضات بتشفير الطور؛

- يملك بعضها حزماً رئيسية للهوائي قابلة للتوجيه في أحد البعدين الزاويين أو كليهما باستعمال توجيه إلكتروني للحزم؛
- تستعمل عادة قدرات استقبال ومعالجة متعددة الاستعمالات كهوائيات استقبال مساعدة تطمس الفصوص الجانبية، ومعالجة قطارات نبضات الموجة الحاملة المتسقة لمنع عودة جلبة الرادار بواسطة تقنيات دلالة الهدف المتحرك أو تقنيات معدل الإنذارات الخاطئة الثابتة (CFAR) وفي بعض الحالات الانتقاء التكييفي للترددات العاملة بالاستناد إلى استشعار التداخل في مختلف الترددات؛
- كثيراً ما يكون لفُرادى الرادارات عروض نبضات وترددات تكرار النبضة متعددة ومختلفة؛ فلبعض الرادارات الزقزقية خيار عروض نطاق الزقزقة؛ ولبعض الرادارات مرنة التردد أساليب متنوعة ومرنة أو ثابتة التردد. ويمكن لهذه المرونة أن توفر أدوات مفيدة للحفاظ على الملاءمة مع رادارات أخرى في البيئة.

يتمتع بعض أو جميع الرادارات المبينة خصائصها في الجداول 1 و2 و3 و4 بهذه الخصائص. وهذه الجداول شاملة بحيث تقدم أمثلة عن مجموعة متنوعة من أهداف الرادار، والمنصات، وأشكال الموجة، وعروض النطاق ودورات التشغيل ومستويات القدرة وأجهزة الإرسال، وما إلى ذلك الموجودة في الرادارات التي تستعمل نطاق التردد هذا، وإن كانت لا توضح القائمة الكاملة للخواص التي قد تظهر في أنظمة مقبلة.

الجدول 1

خصائص رادارات محمولة جواً للاستدلال الراديوي تعمل في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz

الخصائص	النظام A1	النظام A2	النظام A3	النظام A4
الوظيفة	رادار بحث وتتبع (متعدد الوظائف)	رادار بحث محمول جواً	رادار رسم خريطة للأرض تتبع تضاريس الأرض (متعدد الوظائف)	رادار تتبع
مدى التوليف (MHz)	300 9-000 10	500 8-600 9	240 9 و360 9 و480 9	000 10-500 10
التشكيل	نبضي	نبضي	تشكيل موقع النبضات مرنة التردد غير متسقة	CW، FMCW
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	17	143 (حد أدنى) 220 (حد أقصى)	95	1,5
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	0,285؛ 8 200 إلى 000 23	2,5؛ 0,5 400 و600 1	0,3 و2,35 و4 000 2 و425 و250	لا ينطبق
دورة التشغيل القصوى	0,0132	0,001	0,001	1
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,01/0,01	0,2/0,02	0,1/0,1	لا ينطبق
جهاز خرج	أنبوبة موجات متنقلة	مغنطرون قابل للتوليف	مغنطرون ذو توليف تحويفي	أنبوبة موجات متنقلة
نمط مخطط الهوائي	ضيّق	مروحي	ضيّق	ضيّق
نمط الهوائي	صفيف مستوٍ	عاكس مكافئي	صفيف مستوٍ مسطّح	صفيف مستوٍ
استقطاب الهوائي	خطي	خطي	دائري	خطي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	32,5	34	28,3	35,5
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	4,6	3,8	5,75	2,5
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	3,3	2,5	5,75	2,5
معدل المسح الأفقي للهوائي (بالدرجات/ثانية)	236 (118 مسحة/دقيقة)	36 أو 72 (6 أو 12 rpm)	حتى 106 (حتى 53 مسحة/دقيقة)	90

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	النظام A1	النظام A2	النظام A3	النظام A4
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)	360° (ميكانيكي)	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)
معدل المسح الرأسي للهوائي (بالدرجات/ثانية)	118 (59 مسحة/دقيقة)	لا ينطبق	148,42 (حتى 137 مسحة/دقيقة)	90
نمط المسح الرأسي للهوائي	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)	لا ينطبق	قطاعي: –40°/+25 (ميكانيكي)	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)
مستوى الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	7,5 عند 15°	غير محدد	5,3 عند 10°	غير محدد
ارتفاع الهوائي	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	3,1؛ 0,11	5	5,0 و1,8 و0,8	0,48
مستوى ضوضاء المستقبل (dB)	غير محدد	غير محدد	6	3,6
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	103–	107–؛ 101–	101–	
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	غير محدد
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz)			(يعتمد على التردد وعرض النبضة)	
– 3 dB	3,1؛ 0,11	2,7؛ 0,480	100 إلى 118	غير محدد
– 20 Db	22,2؛ 0,79	6,6؛ 1,5	102 إلى 120	غير محدد

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	النظام A5	النظام A6a[1]	النظام A6b[1]
الوظيفة	تجنب أخطار الطقس بما في ذلك كشف قص الريح (ملاحة)	تجنب الطقس (WA) بما في ذلك كشف قص الريح (WS) (ملاحة)	رسم خريطة للأرض بما في ذلك الرسم أحادي النبضة لخريطة الأرض (MGM) وشحذ حزمة دوبلر (DBS)
مدى التوليف (MHz)	9 330	9 305-9 410 WA: مرن التردد نبضة إلى نبضة (≥ 2 000 قفزة/ثانية) WS: تردد واحد متكيّف	9 360 و9 305-9 410 MGM: مرن التردد من نبضة إلى نبضة (≥ 6 000 قفزة/ثانية) DBS: تردد واحد (9 360)
التشكيل	نبضي	WA: نبضات غير مشكّلة وذات شفرة بيكر (5:1 و13:1) WS: نبضات غير مشكّلة	MGM وDBS: نبضة ذات شفرة بيكر (13:1)
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي(W)	150	≥ 150	≥ 150
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	1 إلى 20 180 إلى 9 000	WA: 0,2-230؛ WS: 2 WA: 2 000 pps لنبضات بعرض 0,2-6 µs وتتناقص إلى 230 pps لنبضات بعرض 230 µs WS: 600 3-940 3 pps	MGM: 1,3-260؛ DBS:0,64-20 MGM: 600 pps لنبضات بعرض 1,3-60 µs، وتتناقص إلى 220 pps لنبضات بعرض 260 µs؛ DBS: 700-1 pps لكل عروض النبضات
دورة التشغيل القصوى	غير محددة	WA: 0,054؛ WS: 0,0076	MGM: 0,057؛ DBS: 0,033 (بعيد الأمد 0,024)
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	غير محددة	WA: 0.02-0.05/0.01; WS: 0.02/0.01	MGM: 0.01-0.02/0.01-0.02; DBS: 0.02-0.04/0.01
جهاز خرج	حالة صلبة	FET	FET
نمط مخطط الهوائي	ضيّق	ضيّق	مروحي
نمط الهوائي	صفيف مستوٍ	صفيف مستوٍ	صفيف مستوٍ
استقطاب الهوائي	غير محدد	خطي	خطي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	34,4	32	28,7
عرض حزمة ارتفاع للهوائي (بالدرجات)	3,5	4	42
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	3,5	2,7	2,7
معدل المسح الأفقي للهوائي (بالدرجات/ثانية)	غير محدد	≥ 200 (≥ 40 مسحة/الدقيقة)	≥ 200 (≥ 40 مسحة/الدقيقة)

الخصائص	النظام A5	النظام A6a[1]	النظام A6b[1]
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، الخ.)	قطاعي: ±30°	قطاعي: ±15 إلى ±135° (ميكانيكي)	قطاعي: ±15 إلى ±135° (ميكانيكي)
معدل المسح الرأسي للهوائي	غير محدد	≤ 20 مسحة/الدقيقة	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، الخ.)	غير محدد	1 أو 2 بار أفقي (ميكانيكي)	لا ينطبق
مستوى الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	3,4+	8 عند 4,2°	3,7 عند 4,5°
ارتفاع الهوائي	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة (قص الريح على ارتفاع منخفض)	ارتفاع الطائرة
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد	WA: ≥ 16 من أجل نبضات/نبضات فرعية ضيّقة، يتناقص إلى 0,8 من أجل نبضات/نبضات فرعية عريضة WS: ≥ 0,8	
سوية ضوضاء المستقبل (dB)	4,0	5	5
الحد الأدنى القابلة للتمييز (dBm)	125−	≤ 110−	≤ 110−
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz)	غير محدد	من أقصر نبضة إلى أطول نبضة فرعية: WA: 3 dB: 5 إلى 0,052؛ 20 dB: 40,5 إلى 0,37؛ WS: 3 dB: 0,46؛ 20 dB: 3,28	من أقصر نبضة إلى أطول نبضة فرعية: MGM: 3 dB: 7,68 إلى 0,045؛ 20 dB: 59 إلى 0,31؛ DBS: 3 dB: 18 إلى 0,6؛ 20 dB: 150 إلى 4,1

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	الأنظمة A7a وA7b وA7c[2]	النظام A7d[2]	النظام A7e وA7f[2]	النظام A8
الوظيفة	البحث على السطح وتصوير SAR	ملاحة	تصوير SAR العكسي	بحث (التحديد الراديوي للموقع) طقس
مدى التوليف (MHz)	380 9-120 10	مرن التردد من نبضة إلى نبضة فوق 340 MHz	380 9-120 10	250 9-440 9، مرن التردد من نبضة مقابل نبضة إلى نبضة، مراحل من 20 MHz
التشكيل	نبضة FM خطية	نبضة FM خطية	نبضة FM خطية	نبضة FM
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	50	50	50	10
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	البحث: 5 µs @ 600 1-000 2 أو 10 µs @ 380 تقريباً، SAR: 13,5 µs @ 250-750	10 380 تقريباً	10 470 و530 و800 و000 1	5 و17 500 2 و500 1 و750 و400 (كل عروض النبضة)
دورة التشغيل القصوى	0,010 (5 µs و13,5 µs) 0,004 (10 µs)	0,004	0,010	0,04
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1
جهاز خرج	أنبوبة بموجات متنقلة	أنبوبة بموجات متنقلة	أنبوبة بموجات متنقلة	أنبوبة بموجات متنقلة
نمط مخطط الهوائي	ضيّق/مروحي	ضيّق/مروحي	ضيّق/مروحي	مروحي
نمط الهوائي	عاكس مكافئي	عاكس مكافئي	عاكس مكافئي	صفيف بفواصل
استقطاب الهوائي	أفقي	أفقي	أفقي	رأسي وأفقي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	34,5	34,5	34,5	32
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	4,0	4,0	4,0	9,0
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	2,4	2,4	2,4	1,8
معدل المسح الأفقي للهوائي (بالدرجات/ثانية)	36 و360 و800 1	36 و360 و800 1	36 و360 و800 1	90 أو 360 (15 أو 60 rpm)

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	الأنظمة A7a وA7b وA7c[2]	النظام A7d[2]	النظامان A7e وA7f[2]		النظام A8
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	10° قطاعي	10° قطاعي	10° قطاعي		360°
معدل المسح الرأسي للهوائي (بالدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق		لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	ميل قابل للانتقاء 0°/–90°	ميل قابل للانتقاء 0°/–90°	ميل قابل للانتقاء 0°/–90°		ميل قابل للانتقاء +15°/–15°
مسويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	14,5 عند 12°	14,5 عند 12°	14,5 عند 12°		20
ارتفاع الهوائي	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة		ارتفاع الطائرة
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد	غير محدد	غير محدد		16
سوية ضوضاء المستقبل (dB)	5	5	5		غير محدد
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	يعتمد على كسب المعالجة (34 dB (5 µs) و30 dB (10 µs) و39,5 dB (13,5 µs) من أجل نبضة عودة واحدة)	يعتمد على كسب المعالجة (17 dB من أجل نبضة مرتجعة واحدة)	يعتمد على كسب المعالجة (30 dB (100 MHz) أو 33 dB (200 MHz) من أجل نبضة مرتجعة واحدة)		–98
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	البحث: 500 (5 µs) أو 100 (10 µs) SAR: 660	5	100 أو 200		10
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz)	بحث (5 µs)	بحث (10 µs)	100 MHz زقزقة	200 MHz زقزقة	
	SAR				
– 3 dB	470	95	640	95	4,5	190	9,3
– 20 dB	540	110	730	110	7,3	220	12

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	النظام A9	النظام A10	النظام A11	النظام A12
الوظيفة	تجنب أخطار الطقس، بحث، رسم خريطة الأرض	تجنب أخطار الطقس، رسم خريطة الأرض، بحث	تجنب أخطار الطقس، رسم خريطة الأرض، بحث وإنقاذ	متعدد الأغراض مراقبة، مسح، تتبع، بحث، رادار الفتحة المركبة
مدى التوليف (MHz)	رادار: 375 9 ± 10؛ منار: 310 9	نبضة مسبقة التسخين: 337 9 و339 9 (تسبق كل نبضة تشغيلية) النبضة التشغيلية: 344 9	375 9 ± 30	500 8-10 500
التشكيل	نبضي	نبضي	نبضي	نبضي تكييفي، FM، نبضة مشكلة بالتردد الخطي (زقزقة)
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	25	0,026 (dBW 14)	6,0-2,5	10-0,03
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	4,5 و2,4 و0,8 و0,2 µs عند 180 و350 و1 000 pps	337 9 و339 9 MHz: 1-29 µs عند 200 2–220 pps (عتبية) من أجل كل عروض النبضة؛ 344 9 MHz: 1,7–2,4 و2,4–4,8 و4,8–9,6 و17 و19 و29 µs عند 200 2–220 pps (عتبية)	مثبّتة عند 4 106,5	300-0,15 تكييفي 000 1-000 50 تكييفي
دورة التشغيل القصوى	0,00082	337 9 MHz و339 9 MHz: ≥0,064 344 9 MHz: ≥0,011 (مع نبضات 17 µs)	0,00043	0,08-0,01 (نبضة)، 1 (FM)
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	غير محدد	337 9 MHz و339 9 MHz: 0,2/0,3 344 9 MHz: 0,5/0,5	زمن صعود: 0,3 زمن هبوط: 0,4	0,1-0,005/0,1-0,005
جهاز خرج	مغنطرون عالي الموثوقية	IMPATT ثنائي مساري	مغنطرون	حالة صلبة
نمط مخطط الهوائي	ضيق ومروحي	ضيق	ضيق	تشكيل حزم رقمي (انظر التوصية ITU-R M.1851)
نمط الهوائي	صفيف صفائح مسطحة	صفيف مسطح	صفيف مسطح	صفيف نشيط
استقطاب الهوائي	أفقي ورأسي	أفقي	أفقي	خطي/دائري
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	ضيق: 30؛ مروحي: 29	29	26,7	42-35
عرض حزمة الارتفاع للهوائي (بالدرجات)	ضيق: 3؛ مروحي: 6	10 >	8,1	1,6 @ 42 dBi
عرض الحزمة السمتية للهوائي (الدرجات/ثانية)	ضيق: 3؛ مروحي: 3	7	8,1	1,6 @ 42 dBi

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	النظام A9	النظام A10	النظام A11	النظام A12
معدل المسح الأفقي للهوائي (درجات/ثانية)	72 (بعيد المدى)، 270 (قصير المدى) (360°: 12 rpm (بعيد المدى)، 45 rpm (قصير المدى)) قطاعي: غير محدد	30	25	لا ينطبق
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	مستمر (360°) قطاعي (90°)	قطاعي60° أو 120°	حجم القطاع (90° أو120°)	±60° مسح إلكتروني ±120° مع توجيه ميكانيكي إضافي
معدل المسح الشاقولي للهوائي (درجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
نمط المسح الشاقولي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	لا ينطبق	ميل يختاره المشغّل: ±30°	حجم القطاع: ±30°	±60° مسح إلكتروني ±120° مع توجيه ميكانيكي إضافي
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محددة	13,9+	4,7+	14-19 dB تحت كسب الذروة
ارتفاع الهوائي (MHz)	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة	ارتفاع الطائرة (300-700 13 m)
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد	2,0	1,0	25
مستوى ضوضاء المستقبل (dB)	6,5	2	5	6
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	غير محدد	128− (حساسية الكشف بعد المعالجة)	110−	130−
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	1,900 GHz كحد أقصى في تشكيل الزقزقة
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB	غير محدد	3− dB: 9 337 و9 339 MHz: 0,7 9 344 MHz: 0,4 و0,25 و0,150 و0,075 و0,08 و0,05	3− dB: 0,5	3-dB: 10 MHz 130 MHz، 1800 MHz
– 20 dB	غير محدد	20− dB: 9 337 و9 339 MHz: 3,6 9 344 MHz: 1,8 و1,5 و0,8 و0,375 و0,35 و0,2	20− dB: 1,5	20-dB: 20 MHz، 150 MHz، 1 900 MHz

(1) رادار متعدد الأساليب؛ مزود أيضاً بأسلوب صوت الاستفهام عند التردد 9 375 MHz، ولا يرد وصفه هنا.

(2) رادار متعدد الأساليب.

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	النظام A13
الوظيفة	رادار كشف وتفادي الطائرات بدون طيار
مدى التوليف (MHz)	750 8-850 8 أو 300 9-500 9 (يختار لكي يكون متوافقاً مع إلكترونيات الطيران الأخرى المحمولة على المتن)
التشكيل	نبضي مع شفرة طور رقمية داخل النبضة؛ عرض النطاق عند 3 dB = 5 MHz
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	0,640 (صافي القدرة المشعة)
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	0,2 إلى 30 500 إلى 000 60 (بحسب الأسلوب)
دورة التشغيل القصوى	0,16
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,1/0,1
جهاز خرج	مضخمات قدرة بالحالة الصلبة
نمط مخطط الهوائي	المقطع العرضي للحزمة إهليليجي
نمط الهوائي	صفيف نشط إلكتروني المسح (AESA)
استقطاب الهوائي	خطي رأسي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	28
عرض حزمة الارتفاع للهوائي (بالدرجات)	13,5 باتجاه متعامد مع الهوائي
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	2,7 باتجاه متعامد مع الهوائي

الجدول 1 *(تتمة)*

الخصائص	النظام A13
معدل المسح الأفقي للهوائي (درجات/ثانية)	المسح: 8 أرتال/دقيقة مع تحديثات للمسالك المشذرة عند الحاجة
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.) (بالدرجات)	قطاع: ±110، مسح إلكتروني (استعمال هوائيين)
معدل المسح الشاقولي للهوائي (درجات/ثانية)	المسح: 8 أرتال/دقيقة مع تحديثات للمسالك المشذرة عند الحاجة
نمط المسح الشاقولي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.) (بالدرجات)	قطاع: ±15 (بحث)، ±45 (تتبع) مسح إلكتروني؛ يتم تثبيت مجال الرؤية بالنسبة لمستوي أفقي محلي
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	<17، الفص الجانبي الأول؛ <13، الفصوص الجانبية الخارجية؛ (تنطبق على مستويات الفصوص الجانبية للإرسال مع ترجيح منتظم؛ مستويات الفصوص الجانبية للاستقبال أقل)
ارتفاع الهوائي	يساوي ارتفاع الطائرة
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	10-5 (حسب الأسلوب)
مستوى ضوضاء المستقبل (dB)	4,4 (عامل ضوضاء النظام)
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	–129 لقيمة لنسبة إشارة إلى ضوضاء (SNR) تساوي 10 dB (تعادل قدرة الإشارة عند خرج هوائي استقبال منفعل بدون خسائر، مع استبعاد كسب الهوائي وإدماج كسب المعالجة الرقمية للإشارة)
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	10 عند استعمال الزقزقة (لأساليب النمو المحتملة) 5 للشفرة ثنائية الطور
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	10-5 (حسب الأسلوب) 25

الجدول 2

خصائص رادارات محمولة على متن السفن للتحديد الراديوي للموقع في النطاق 8 500–10 680 MHz

الخصائص	النظام S1	النظام S2	النظام S3	النظام S4		النظام S5
الوظيفة	رادار بحث وملاحة	رادار تتبع	رادار بحث على ارتفاع منخفض وعلى السطح (متعدد الوظائف)	رادار ملاحة راديوية بحرية[3]		رادار مراقبة وملاحة على السطح
نمط المنصة	محمولة على متن السفن، مواقع تدريب على الشاطئ	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن		محمولة على متن السفن
مدى التوليف (MHz)	9 600-8 500	10 500-10 000	10 000-8 500	9 500-9 225		9 500-9 300
التشكيل	نبضي	FMCW ،CW	نبضة مرنة للتردد[4]	نبضي		FMCW
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	35	13,3	10	5 (بحد أدنى)	50 (بحد أقصى)	110×10^{-6} إلى 10×10^{-3}
عرض النبضة (µs) ومعدل تكرار النبضة (pps)	0,1؛ 0,5 500 1؛ 750	لا ينطبق لا ينطبق	0,56 إلى 1,0؛ 0,24 000 19 إلى 000 35؛ 000 4 إلى 000 35	0,03 (حد أدنى) عند 000 4 (حد أقصى)	1,2 (حد أقصى) عند 375 (حد أدنى)	لا ينطبق 000 1[5]
دورة التشغيل القصوى	0,00038	1	0,020	0,00045		1
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,08/0,08	لا ينطبق	0,03/0,028؛ 0,024/0,038	غير محدد		لا ينطبق
جهاز خرج	مغنطرون	أنبوبة موجات متنقلة	أنبوبة موجات متنقلة	مغنطرون		حالة صلبة
نمط مخطط الهوائي	مروحي	ضيق	ضيق	مروحي		مروحي
نمط الهوائي	صفيف بوقي	صفيف مستوي	مصفوفة ذات شقوق	مصفوفة ذات شقوق		دليل موجي بفواصل
استقطاب الهوائي	خطي	خطي	خطي	غير محدد		خطي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	29	43	39	27 (حد أدنى)	32 (حد أقصى)	30

الجدول 2 *(تابع)*

الخصائص	النظام S1	النظام S2	النظام S3	النظام S4		النظام S5
عرض حزمة ارتفاع للهوائي (بالدرجات)	13	1	1	20,0 (حد أدنى)	26,0 (حد أقصى)	20
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	3	1	1,5	0,75 (حد أدنى)	2,3 (حد أقصى)	1,4
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	57	90	180	120 (حد أدنى)	360 (حد أقصى)	144
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، الخ.) (بالدرجات)	360 (ميكانيكي)	360 (ميكانيكي)	360 أو بحث/تتبع قطاعي (ميكانيكي)	360		360
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	90	لا ينطبق	لا ينطبق		لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق	قطاعي: –30° /+83 (ميكانيكي)	لا ينطبق	لا ينطبق		لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محددة	23 (الفص الجانبي الأول)	23 (الفص الجانبي الأول)	4 عند ≥ 10° (حد أدنى) 3 عند ≤ 10° (حد أقصى)	9 عند ≥ 10° (حد أقصى) 2 عند ≤ 10° (حد أقصى)	5 (الفص الجانبي الأول)
ارتفاع الهوائي	مركب على الصاري أو سطح السفينة	مركب على الصاري أو سطح السفينة	مركب على الصاري أو سطح السفينة	مركب على الصاري أو سطح السفينة		مركب على الصاري أو سطح السفينة
التردد المتوسط للمستقبل	غير محدد	غير محدد	غير محدد	45 (حد أدنى)	60 (حد أقصى)	
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	12	0,5	2,5؛ 4؛ 12	6؛ 2,5 (حد أدنى) (نبضة قصيرة وطويلة على التوالي)	28؛ 6 (حد أقصى) (نبضة قصيرة وطويلة على التوالي)	0,5
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	غير محدد	3,5	9	3,5 (حد أدنى)	8,5 (حد أقصى)	3,5
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	–96	–113	–102؛ –100؛ –95	–106 (حد أدنى)	–91 (حد أقصى)	–113
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	غير محدد	لا ينطبق	لا ينطبق		1,7 إلى 54
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB				غير محدد		غير محدد
	10؛ 5	غير محدد	1,6؛ 4,2	غير محدد		غير محدد
	80؛ 16	غير محدد	10؛ 24	غير محدد		غير محدد

الجدول 2 *(تابع)*

الخصائص	النظام S6	النظام S7	النظام S8	النظام S9	
الوظيفة	رادار ملاحة راديوية بحرية	ملاحة وبحث	رادار ملاحة راديوية بحرية[6]	رادار ملاحة راديوية بحرية[7]	
نمط المنصة	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن	
مدى التوليف (MHz)	9 440-9 380	9 500-9 300	9 500-9 225	9 500-9 225	9 445 ± 30
التشكيل	نبضي	نبضي	نبضي	نبضي	
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	25	1,5	5	10-1,5	
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	0,08 و0,2 و0,4 و0,7 و1,2 2 200 (0,08 µs)؛ 1 800 و1 000 و600 (1,2 µs)	0,08 و0,25 و0,5 2 250 و1 500 و750	0,05 و0,18 و0,5 3 000 pps عند 0,05 µs إلى 1 000 pps عند 0,5 µs	0,08 (حد أدنى) عند 3 600 pps	1,2 (حد أقصى) عند 375 pps
دورة التشغيل القصوى	0,00072	0,000375	0,0005	0,00045	
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,010/0,010	0,01/0,05	غير محدد	غير محدد	
جهاز خرج	مغنطرون	مغنطرون	مغنطرون	مغنطرون	
نمط مخطط الهوائي	مروحي	مروحي	مروحي	مروحي	
نمط الهوائي	صفيف بفواصل يُغذى من الطرف	دليل موجي بفواصل يُغذى من المركز	صفيف بفواصل	صفيف بفواصل/رقعي أو بوقي	
استقطاب الهوائي	أفقي	أفقي	أفقي	أفقي	
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	31	23,9	30	30-22	
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	20	25	26	28-24	
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	0,95	6	0,95	7-1,9	
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	144	144	180	144	
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.) (بالدرجات)	360	360	360	360	

الجدول 2 *(تابع)*

الخصائص	النظام S6	النظام S7	النظام S8	النظام S9
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محددة	2,9+	< 5 ضمن 10°؛ ≥ 2 خارج 10°	حزمة رئيسية 22: 3 إلى 4 ضمن 10°؛ 0 إلى 3 خارج 10° حزمة رئيسية 30: 7 إلى 10 ضمن 10°؛ −2 إلى +7 خارج 10°
ارتفاع الهوائي	سارية	سارية	سارية	سارية
التردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد	غير محدد	50	60-45
عرض نطاق 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	15	10 و3	25-15	25-2,5
سوية ضوضاء المستقبل (dB)	6	6	6	4 إلى 8
الحد الأدنى للإشارة الممكن تمييزها (dBm)	−97 (ضوضاء الخلفية)	−102 (ضوضاء الخلفية)	غير محدد	غير محدد
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz)			غير محدد	غير محدد
− 3 dB	14	20		
− 20 dB	43	55		

(3) فئة المنظمة البحرية الدولية (IMO) بما في ذلك صيد الأسماك.

(4) نبضة غير منضغطة مرنة التردد شبه عشوائية.

(5) معدل الكنس الترددي (كنسة/الثانية).

(6) الفئة النهرية.

(7) فئة زوارق الترفيه.

الجدول 2 *(تابع)*

الخصائص	النظام S10	النظام S11	النظام S12
الوظيفة	رادار مراقبة	رادار ملاحة بحرية	رادار مراقبة
نمط المنصة	محمولة على متن السفن	محمولة على متن السفن	على السفن وساحلي
مدى التوليف (MHz)	9 500-9 225	9 460-9 325	9 200-9 000 أو 9 500-9 225
التشكيل	انضغاط النبض	نبضي	V7N رادار بانضغاط النبض متماسك بالكامل يستخدم نمطاً معقداً من الزقزقات تصل إلى 6 أضعاف الترددات المركزية مع ثلاث فترات مختلفة لمدة الزقزقة
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	0,2	25	0,1-0,05
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	100-0,08 10 000-1 000	0,06/0,25/0,5/1 3 000/2 000/1 000/750	0,150 إلى 40 5 000-1 000
دورة التشغيل القصوى	0,2	$7{,}5 \times 10^{-4}$	0,2
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,02	0,015/0,086	0,02 تقريباً
جهاز خرج	الحالة الصلبة	مغنطرون (غير متماسك)	الحالة الصلبة
نمط مخطط الهوائي	مروحي	حزمة مروحية	حزمة مروحية
نمط الهوائي	دليل موجي بفواصل	صفيف أدلة موجية بفواصل	دليل موجي بفواصل
استقطاب الهوائي	دائري/أفقي	أفقي	أفقي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	37	31	≥ 34
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	11	25	$\leq 16^\circ$ @ –3 dB / $\leq 55^\circ$ @ –20 dB (Typ.)
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	0,4	0,95	$\leq 0.6^\circ$ @ –3 dB
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	288-60	144 أو 240	RPM 48-10
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.) (بالدرجات)	متواصل أو قطاعي	متواصل	متواصل أو قطاعي

الجدول 2 (*تابع*)

الخصائص	النظام S10	النظام S11	النظام S12
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	28	< –32 / للفصوص الجانبية البعيدة < –40	1,5°-5° < 6 5°-10° < 4 > 10° < 1–
ارتفاع الهوائي (m)	عادة 30-100	نمطياً 10-50 تبعاً لمنشآت السفينة	يعتمد على المنشآت
عرض نطاق 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	180	22 أو 5	180 (تماثلي) استبانة عرض النطاق 2,5 أو 25[8]
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	2,5	2,5	2,5
الحد الأدنى للإشارة الممكن تمييزها (dBm)	130–	130–	130– مكافئ بعد انضغاط النبض
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	عادة 6 × 35 MHz	لا ينطبق	6 × 35 = 210 (عند عرض نطاق –3 dB)[9]
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	240 275	9 (عند –3 dB) 66 (عند –20 dB) للنبضات الأقصر	بحسب إعداد البيانات العامة. عادة يستعمل النطاق الكامل بحيث يبقى عرض النطاق –20 dB ضمن نطاق التردد 225 9-500 9 MHz ويكون عرض النطاق عند –3 dB مجموع عروض النطاق لجميع الترددات المركزية المستعملة. أما الزقزقة الإفرادية من حيث المبدأ عند عرض النطاق –3 dB فتساوي 35[10]
المدى الدينامي (dB)			
العدد الأدنى للنبضات المعالجة			

(8) عرض النطاق 180 MHz تماثلي هو عرض النطاق الذي يمكن معالجته في التحويل من تماثلي إلى رقمي. ويمكن تحريك هذه "النافذة" بالنسبة للتردد بحسب الحاجة.

(9) "إجمالي عرض الزقزقة" في طيف التردد المشمول هي مجموع عروض نطاق جميع الزقزقات المستعملة ويصل إلى 6 × 35 MHz = 210 MHz (عند عرض نطاق –3 dB).

(10) يمكن استعمال حتى 6 ترددات مركزية إفرادية. ويساوي عرض نطاق الزقزقة الإفرادية (عند –3 dB) 30-35 MHz. وقد يكون إجمالي عرض النطاق الراديوي أكبر من 180 MHz ويمثل عادة نطاق التردد المستخدم (مثلاً 9,2-9,0 GHz أو 9,500-9,225 GHz).

الجدول 2 (*تابع*)

الخصائص	النظام S13
الوظيفة	رادار ملاحة بحرية
نمط المنصة	على السفن وساحلي
مدى التوليف (MHz)	9 200-9 500
التشكيل	نبضة بالموجة المستمرة (CW) للمدى القصير نبضة زقزقة بتشكيل التردد غير خطية للمدى البعيد (عرض نطاق الزقزقة يساوي 20 MHz)
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	0,17 قيمة اسمية 0,20 قيمة ذروية
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	نبضات بعرض 0,1 و5 و33 µs وفاصل تكرار 12و64 و365 µs ومعدل فعال لتكرار النبض 2267
دورة التشغيل القصوى	%13
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,02 تقريباً
جهاز خرج	الحالة الصلبة
نمط مخطط الهوائي	مروحي
نمط الهوائي	صفيف بفواصل
استقطاب الهوائي	أفقي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	32,7 أو 34,5
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	25
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	< 0,7 أو < 0,45
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	12 أو 24 RPM
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ). (بالدرجات)	متواصل

الجدول 2 (*تتمة*)

الخصائص	النظام S13
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	26
ارتفاع الهوائي (m)	بحسب حجم السفينة
عرض نطاق 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	15 و0,1875 و0,0375
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	5,5
الحد الأدنى للإشارة الممكن تمييزها	−125
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	20
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	 –3 dB: 15 (المدى القصير) –3 dB: 20 (المدى الطويل) –20 dB: 18 (المدى القصير) –20 dB: 22 (المدى الطويل)
المدى الدينامي (Db)	125
العدد الأدنى للنبضات المعالجة	32 نبضة متكاملة (12 RPM) 16 نبضة متكاملة (24 RPM)

الجدول 3

خصائص المنارات والرادارات القائمة على الأرض للاستدلال الراديوي في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz*

الخصائص	النظام G1	النظام G2	النظام G3	النظام G4	النظام G5
الوظيفة	مرسل – مستجيب منار اللقاء	مرسل – مستجيب منار اللقاء	رادار تتبع	رادار تتبع	رادار الاقتراب والهبوط الدقيقين
نمط المنصة	محمولة جواً	أرضية (محمولة على ظهر إنسان)	أرضية (متدلّية)	أرضية (متدلّية)	أرضية (متدلّية)
مدى التوليف (MHz)	800 8-500 9	375 9 و535 9 (Rx)؛ 310 9 (Tx)	370 9-990 9	000 10-500 10	000 9-200 9
التشكيل	نبضة واحدة أو مزدوجة	نبضي	نبضي مرن التردد	FMCW ،CW	نبضي مرن التردد
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	0,300	0,020 إلى 0,040	31	14	120
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	0,3 10 إلى 600 2	0,3 إلى 0,4 أقل من 000 20	1 690 7 إلى 700 14	لا ينطبق لا ينطبق	0,25 6 000
دورة التشغيل القصوى	0,00078	0,008	0,015	1	0,0015
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,1/0,2	0,15/0,10	0,05/0,05	لا ينطبق	0,04/0,02
جهاز خرج	مغنطرون	حالة صلبة	أنبوبة موجات متنقلة	أنبوبة موجات متنقلة	أنبوبة موجات متنقلة
نمط مخطط الهوائي	شامل الاتجاه	ربعية	ضيّق	ضيّق	ضيّق/مروحي
نمط الهوائي	دليل موجي مفتوح الطرف	صفيف دارات مطبوعة	صفيف مطاور (دليل موجي خطي بفواصل)	صفيف مستوي	صفيف مستوي من ثنائيات القطب
استقطاب الهوائي	خطي	دائري	خطي	خطي	دائري
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	8	13	42,2	42,2	40

الجدول 3 *(تابع)*

الخصائص	النظام G1	النظام G2	النظام G3	النظام G4	النظام G5
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	18	20؛ 3	0,81	1	0,7
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	360	65؛ 10	1,74	1	1,1
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	غير محدد	90	30-5
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	لا ينطبق	لا ينطبق	قطاعي: ±45° (ممسوح الطور)	360° (ميكانيكي)	قطاعي: +23/+15° (ممسوح طورياً)
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	غير محدد	90	30-5
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق	لا ينطبق	قطاعي: ±90° ميل مصفوفة (ممسوحة ترددياً)	قطاعي: ±90° ميل مصفوفة (ميكانيكي)	قطاعي: +7/–1° (ممسوح ترددياً)
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محددة	0 (SL الأول)	غير محددة	غير محددة	غير محددة
ارتفاع الهوائي	ارتفاع الطائرة	سطح الأرض	سطح الأرض	سطح الأرض	سطح الأرض
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	24	40	1	0,52	2,5
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	غير محدد	13	غير محدد	3,4	غير محدد
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	99–	65–	107–	113–	98–
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz)					
– 3 dB	2,4	4,7	0,85	غير محدد	3,6
– 20 dB	13,3	11,2	5,50	غير محدد	25,0

الجدول 3 *(تابع)*

الخصائص	النظام G6	النظام G7	النظام G8
الوظيفة	مراقبة المطار/GCA	رادار الاقتراب الدقيق	أجهزة كشف سطح المطار (ASDE)
نمط المنصة	أرضية (متنقلة)	أرضية (ثابتة أو قابلة للنقل)	أرضية
مدى التوليف (MHz)	9 025	9 200-9 000 (4 ترددات لكل نظام)	9 200-9 000؛ مرن من نبضة إلى نبضة على مدى 4 ترددات
التشكيل	بسيط وبنبضات NLFM	بسيط وبأزواج نبضات NLFM	بسيط وبأزواج نبضات NLFM
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (W)	310,5	500	70
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	1,2 و30 و96 800 12 و200 3–300 6 و120 2	0,65 و25 زوج نبضات 470 3 و500 3 و200 5 و300 5	0,04 و4,0 (منضغط إلى 0,040) 096 4 للنبضة الواحدة، 8192 للمجموع
دورة التشغيل القصوى	0,203	0,11	0,017
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	غير محدد	0,15/0,15 و0,15/0,15	نبضة قصيرة: 0,018/0,016؛ نبضة طويلة: 0,06/0,082؛
جهاز خرج	حالة صلبة	ترانزستورات	حالة صلبة
نمط مخطط الهوائي	مروحي (csc^2)	مروحي رأسي ومروحي أفقي	مقلوب csc^2
نمط الهوائي	صفيف نشط + عاكس	صفيفان مطاوران	صفيف منفعل
استقطاب الهوائي	رأسي	دائري ميامن	دائري ميامن
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	Tx 37,5، Rx 37	مروحي رأسي: 36 مروحي أفقي: 36	35
عرض حزمة الارتفاع للهوائي (بالدرجات)	3,5 + csc^2 إلى 20	مروحي رأسي: 9,0 مروحي أفقي: 0,63	19
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	1,05	مروحي رأسي: 1,04 مروحي أفقي: 15	0,35

الجدول 3 *(تابع)*

الخصائص	النظام G6	النظام G7	النظام G8
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	12	مروحي رأسي: 60، نصف الوقت (60 مسحة/دقيقة)	360
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	°360	°30 قطاعي	مستمر
معدل المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	مروحي أفقي: 20، نصف الوقت (60 مسحة لكل دقيقة)	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	لا ينطبق	°10 قطاعي	لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	7,5 في المتوسط على Tx، و2,9 في المتوسط على Rx	مروحي رأسي: 17 مروحي أفقي: 18,5	مستوى Az: ≥ +10 مستوى El: ≥ +20
ارتفاع الهوائي (m)	مستوى الأرض	مستوى الأرض	30 إلى 100 فوق سطح الأرض
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد 0,8 (تقديرياً)	40	36
رقم ضوضاء المستقبِل (dB)	5 إلى 6,5	7,5	5,56
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	غير محدد	–90 (dB 13,5 = *S/N*)	–96,2
المدى الدينامي (dB)	65 من الضوضاء إلى انضغاط 1 dB	غير محدد	غير محدد
الحد الأدنى من عدد النبضات المعالجة في كل فاصل معالجة متماسكة (CPI)	7	6	تكامل غير متماسك رباعي النبضات
إجمالي عرض الزقزقة (MHz)	غير محدد 0,8 (تقديرياً)	2	نبضة قصيرة: لا شيء نبضة طويلة: 50
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	 0,8 (تقديرياً) غير معروف	 1,1 (نبضة بسيطة)، 1,8 (NLFM) 5,8 (نبضة بسيطة)، 3,15 (NLFM)	 43,2 70,3
خصائص رفض التداخل	غير محددة	غير محددة	CFAR محلي؛ خريطة الجلبة؛ مرشاح فضائي ثنائي البعد

الجدول 3 *(تابع)*

الخصائص	النظام G9
الوظيفة	رادار تتبع
نمط المنصة	أرضي
مدى التوليف (MHz)	9 500-8 700
التشكيل	نبضة FM خطية
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	150
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	15-1 15 000-500
دورة التشغيل القصوى	غير محددة
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	0,05
جهاز الخَرَج	أنبوب موجات متنقلة
نمط مخطط الهوائي	حزمة ضيّقة
نمط الهوائي	صفيف مستوٍ
استقطاب الهوائي	خطي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	38
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	5
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	5
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	300
نمط المسح الرأسي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	متواصل
المسح الرأسي للهوائي (بالدرجات)	لا ينطبق

الجدول 3 (*تتمة*)

الخصائص	النظام G9
نمط المسح الرأسي للهوائي	عشوائي
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محددة
ارتفاع الهوائي (M)	مستوى الأرض
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	3
ضوضاء خلفية المستقبل (dBm)	−105
خسارة الاستقبال (dB)	غير محددة
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	3
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	3

* يمكن أيضاً استعمال الأنظمة الرادارية ذات الخصائص المماثلة لتلك الواردة في الجدول 2 والمتعلقة بأنظمة الملاحة البحرية في رادرات المطارات المقامة على الأرض.

الجدول 4

خصائص الرادارات العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz

الخصائص	النظام G10	النظام G11	النظام G12
الوظيفة	الاختراق	الاختراق	قياس السرعة
نمط المنصة	أرضية	أرضية	أرضية
مدى التوليف (GHz)	10,525	10,65-10,15	10,531-10,519
التشكيل	CW	CW	CW
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (W)	10	10	0,5
متوسط القدرة الداخلة إلى الهوائي (W)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
دورة التشغيل القصوى	1	1	1
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
نمط مخطط الهوائي	مكافئي	مكافئي	حزمة ضيقة
نمط الهوائي	مكافئي	مكافئي	صفيف مستوٍ
استقطاب الهوائي	رأسي	رأسي	رأسي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	38	42	21
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	1,9	2	20
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	1,9	1,2	10
معدل المسح الأفقي للهوائي	غير محدد	غير محدد	غير محدد
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	غير محدد	غير محدد	غير محدد
المسح الرأسي للهوائي	غير محدد	غير محدد	غير محدد
نمط المسح الرأسي للهوائي	غير محدد	غير محدد	غير محدد

الجدول 4 *(تابع)*

الخصائص	النظام G10	النظام G11	النظام G12
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	28	22 عند 3°	9 عند 14°
ارتفاع الهوائي	غير محدد	غير محدد	غير محدد
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
الحساسية (dBm)	100–	152–	136–
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	13	3,6	7
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	لا ينطبق	لا ينطبق	لاينطبق
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 40 dB	3,2	3,2	3,2

الجدول 4 *(تابع)*

الخصائص	النظام G13	النظام G14	النظام G15	النظام G16
الوظيفة	رادار تتبع	رادار تتبع	رادار تتبع	رادار تتبع
نمط المنصة	محمولة جواً	محمولة على متن سفينة	أرضية (مقطورة)	أرضية ومحمولة على متن السفينة
مدى التوليف (GHz)	10,6-10,5	10,6-10,5	10,6-10,5	10,68-10,5
التشكيل	FMCW ،CW	FMCW ،CW	FMCW ،CW	LFM
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (kW)	1,5	13,3	14	70
متوسط القدرة الداخلة إلى الهوائي (W)	–	–	–	20 000
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	لا ينطبق لا ينطبق	لا ينطبق لا ينطبق	لا ينطبق لا ينطبق	15-2 K 140-5
دورة التشغيل القصوى	1	1	1	0,28
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق	0,005
نمط مخطط الهوائي	ضيق	ضيق	ضيق	ضيق
نمط الهوائي	صفيف مستوٍ	صفيف مستوٍ	صفيف مستوٍ	صفيف مستوٍ
استقطاب الهوائي	خطي	خطي	خطي	خطي
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	35,5	43	42,2	46
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	2,5	1	1	2
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	2,5	1	1	2
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	90	90	90	لا ينطبق
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)	360° (ميكانيكي)	360° (ميكانيكي)	قطاعي: ±90° (ميكانيكي)
المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	90	90	90	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	قطاعي: ±60° (ميكانيكي)	قطاعي: +83/–30° (ميكانيكي)	قطاعي: ±90° ميل مصفوفة (ميكانيكي)	قطاعي: +85/–10° (ميكانيكي)

الجدول 4 *(تابع)*

الخصائص	النظام G13	النظام G14	النظام G15	النظام G16
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	غير محدد	23 (1st SL)	غير محدد	غير محدد
ارتفاع الهوائي	ارتفاع الطائرة	مركب على الصاري أو سطح السفينة	مستوى سطح الأرض	مركب على الصاري أو سطح السفينة
عرض نطاق يبلغ dB 3 للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	0,48	0,5	0,52	10
الحساسية (dBm)	–	–113	–113	–112
قدرة الضوضاء (dBm)	–	–	–	
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	3,6	3,5	3,4	4,5
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	غير محددة	غير محددة	غير محددة	10
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – dB 3 – dB 20	 غير محددة غير محددة	 غير محددة غير محددة	 غير محددة غير محددة	 5,5 11

الجدول 4 *(تابع)*

الخصائص	النظام G17	النظام G18	النظام G19
الوظيفة	متعدد الأغراض، مراقبة، مسح، تتبع	أجهزة كشف سطح المطار	أجهزة كشف سطح المطار
نمط المنصة	أرضية (مقطورة)	أرضية	أرضية
مدى التوليف (MHz)	9 900-9 200	9 0009 200؛ مرن من نبضة إلى نبضة على مدى 16 تردداً مع قفزات محددة سلفاً	9 0009 200؛ مرن من نبضة إلى نبضة على مدى 4 تردداً مع قفزات محددة سلفاً
التشكيل	نبضة تكييفية، FM	بسيط وبأزواج نبضات LFM	تعرف نبضتان LFM زوج النبضات
ذروة القدرة الداخلة إلى الهوائي (W)	10 000-30	170	50
عرض النبضة (µs) ومعدلات تكرار النبضة (pps)	30-0,15 تكييفي 20 000-1 000 تكييفي	0,040 و4,0 (منضغطة إلى 0,040) 16 384 للنبضة الواحدة	10,0 و0,15 عند 7 500 (النبضتان منضغطتان إلى 0,040)، القيمة المتوسطة القصوى للنظام 15 000
دورة التشغيل القصوى	0,60 (نبضة) 1 (FM)	0,07	0,15
زمن صعود/هبوط النبضة (µs)	غير محدد	نبضة قصيرة: 0,016/0,023 نبضة طويلة: 0,038/0,056	نبضة قصيرة: 0,020/0,020 نبضة طويلة: 0,020/0,020
جهاز الخرج	حالة صلبة	حالة صلبة	حالة صلبة
نمط مخطط الهوائي	تشكيل حزم رقمي	مقلوب csc^2	مقلوب csc^2
نمط الهوائي	صفيف مستوٍ نشط	صفيف منفعل	دليل موجي بفواصل
استقطاب الهوائي	خطي/دائري	دائري ميامن	دائري ميامن
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي (dBi)	42-36	37,6	37,6
عرض حزمة ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	4 @ 36 dBi 2 @ 42 dBi	9,91	9,91
عرض الحزمة السمتية للهوائي (بالدرجات)	2,5 @ 36 dBi 1,3 @ 42 dBi	0,37	0,37

الجدول 4 *(تابع)*

الخصائص	النظام G17	النظام G18	النظام G19
معدل المسح الأفقي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	360	360
نمط المسح الأفقي للهوائي (متواصل، عشوائي، قطاعي، إلخ.)	±60° مسح إلكتروني N*360° ميكانيكي	متواصل	متواصل
المسح الرأسي للهوائي (الدرجات/ثانية)	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي	±40° إلكتروني	لا ينطبق	لا ينطبق
مستويات الفص الجانبي للهوائي (SL) (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة) (dBi)	تبعاً لتشكيل الحزم	9,15	9,15
ارتفاع الهوائي	~ 10 m	من 10 إلى 100 m فوق الأرض	من 10 إلى 100 m فوق الأرض
عرض نطاق يبلغ 3 dB للتردد المتوسط للمستقبل (MHz)	غير محدد	50	180
رقم ضوضاء المستقبل (dB)	6	5,25	5,0
الحد الأدنى للإشارة القابلة للتمييز (dBm)	122–	102–	115–
المدى الدينامي (dB)	غير محدد	غير محدد	غير محدد
الحد الأدنى من عدد النبضات المعالجة في كل فاصل معالجة متماسكة (CPI)	غير محدد	غير محدد	غير محدد
عرض نطاق الزقزقة (MHz)	غير محدد	نبضة قصيرة: لا يوجد نبضة طويلة: 50	نبضة قصيرة: 35 نبضة طويلة: 35
عرض نطاق بث التردد الراديوي (MHz) – 3 dB – 20 dB	 تكييفي تكييفي	 50 59	 35 42

1.2 المرسلات

تستعمل الرادارات العاملة في نطاق التردد 500 8–680 10 MHz مجموعة متنوعة من التشكيلات بما فيها النبضات غير المشكلة والموجة المستمرة (CW) والنبضات بتشكيل التردد (المزقزقة) والنبضات بتشفير الطور، ويمكن لبعض الرادارات الجديدة المزودة التي تتوفر فيها المعالجة الرقمية للإشارات أن تستعمل التشكيل التكيفي بمخططات تشكيل مختلفة ومدة نبضة متغيرة ومعدل متغير لتكرار النبض. وتُستعمل أجهزة خرج المجال المتقاطع والحزمة الخطية والحالة الصلبة في المراحل الأخيرة من المرسلات. وتتجه أنظمة الرادارات الجديدة نحو أجهزة خرج الحزمة الخطية والحالة الصلبة نظراً لمتطلبات معالجة إشارة دوبلر. علاوة على ذلك، تمتلك الرادارات التي تستعمل أجهزة خرج الحالة الصلبة قدرة خرج منخفضة ودورات تشغيل ذات نبضات عالية. وفي أربع حالات (الأنظمة A4 وS2 وS5 وG4)، تبلغ دورة التشغيل 100% مع رادارات تحديد راديوي للموقع CW عالية القدرة تشغل جمعيها فوق 10 GHz. وثمة اتجاه أيضاً إلى استعمال أنظمة الرادار من النمط مرن التردد التي تكبت التداخل أو تخفّضه، كما هو الشأن في بعض أنظمة الاتصالات. كما تُستعمل مرونة التردد أحياناً لتجنب عودة الجلبة ملتبسة المدى. وقد تجري إرسالات عشوائية (أو شبه عشوائية) على تردد واحد لموجة حاملة طوال فاصل المعالجة المتسقة، بل حتى في وضع الحزمة الكاملة للهوائي أو في فترة سكونها حيث تُرسل نبضات عديدة، أو خلال نبضة واحدة فقط. وهذه البدائل شبيهة "بالقفز بطيء التردد" و"القفز سريع التردد" في نظام للاتصالات. وينبغي أخذ هذه الجوانب الهامة لأنظمة الرادار في الاعتبار عند إجراء دراسات ملائمة.

ويتراوح عرض النطاقات النمطية للمرسل RF (3 dB) للرادارات العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz بين 45 kHz و637 MHz. ويتراوح مدى قدرات ذروة خرج المرسل بين 1 mW (0 dBm) بالنسبة لمرسلات الحالة الصلبة و220 kW (83,4 dBm) بالنسبة للرادارات عالية القدرة المستعملة لأجهزة المجال المتقاطع (مغنطرون).

لا تتناول هذه التوصية خصائص البث غير المطلوب.

2.2 المستقبِلات

تستعمل أنظمة رادار الجيل الأحدث عهداً معالجة الإشارة الرقمية بعد عمليات كشف الهدف والمدى والسمت ومعالجة دوبلر. وتشمل معالجة الإشارة الرقمية عموماً تقنيات تُستعمل لتحسين كشف الأهداف المنشودة وإنتاج هذه الأهداف في شكل رموز على الشاشة. وتوفر تقنيات معالجة الإشارات المستعملة لتعزيز كشف الأهداف المنشودة والتعرّف عليها قدراً من كبت التداخل النبضي ذي دورة التشغيل المنخفضة (أقل من 5%) غير المتزامن مع الإشارة المنشودة.

وتستعمل معالجة الإشارة للرادارات من الجيل الأخير نبضات زقزقية أو مشفّرة الطور لإنتاج كسب معالجة بالنسبة إلى الإشارة المنشودة وربما توفر أيضاً كبتاً للإشارات غير المنشودة.

تستعمل بعض الرادارات الأحدث عهداً صفيفة القدرة أو رادارات الحالة الصلبة معالجة إشارات القنوات المتعددة ذات دورة تشغيل عالية لتعزيز عودة الإشارة المنشودة. وتتوفر لبعض مستقبِلات الرادار القدرة على التعرّف على هوية قنوات RF ذات مستويات منخفضة من الإشارات غير المنشودة، وتأمر المرسل بالإرسال على هذه القنوات RF.

وغالباً ما تستعمل الرادارات الأحدث عهداً مرحلة دخل عريضة النطاق تعمل على كامل نطاق مدى الترددات الممكنة. حتى أن مراشيح التردد المتوسط تصمّم بعرض نطاق مرتفع نسبياً. ويتيح ذلك مزايا مثل قفز التردد والتشكيل التكيفي بعرض نطاق متغير. وتتم المعالجة النهائية بما في ذلك الترشيح التكيفي في معالجة الإشارات في النطاق الأساسي.

3.2 الهوائيات

تُستعمل الرادارات العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz أنماطاً مختلفة من الهوائيات. وتعتبر الهوائيات في هذا النطاق عموماً ذات حجم ملائم ولذلك فهي تهم التطبيقات التي يتسم فيها التنقل وخفة الوزن بالأهمية، وليس طول المدى. وتعمل عدة أنواع من الرادارات في النطاق 500 8-680 10 MHz وفقاً لمجموعة متنوعة من الأساليب بما في ذلك أسلوبي البحث والملاحة (رصد الطقس). وتقوم هوائيات مثل هذه الرادارات عادةً بعملية مسح على مستوى 360 درجة في المستوى الأفقي.

وتمكّن التطورات الأخيرة التي شهدتها تكنولوجيا الرادار (مثل الخزفيات التي تحرق معاً على درجات حرارة منخفضة، وتقليص أحجام وحدات التردد الراديوي، وتزايد قدرة المعالجة) من معالجة الإشارات في النطاق الأساسي لكل عنصر هوائي وحيد في صفيف هوائيات مطاوَر.

وتكون العناصر في صفيف الهوائيات المطاوَر النشط اتجاهية بدرجة طفيفة فقط، وتتشكل فيها الحزمة باستخدام عدد كبير من العناصر التي تكون فيها زحزحة الطور متغيرة. وبالتالي فإن آليات التداخل ونبذ التداخل فيها تكون مختلفة عن الآليات في الهوائيات التقليدية (ذات العواكس المكافئية مثلاً).

وتتمتع هذه الرادارات بقدرة على القيام بمهام رادارية مختلفة في آن معاً (كالتتبع والمسح وتتبع أهداف متعددة). ويستعاض فيها عن مسح الخطوط أو الدوائر التي ترسمها حزمة ضيقة بمعالجة للإشارات مترافقة مع تتبع ومسح تكيفي.

المرسِل: تُرسل الإشارة بواسطة حزمة تبديلية سريعة جداً.

المستقبِل: تبعاً للطريقة المطبقة في معالجة الإشارات يمكن من حيث المبدأ أن يتم الاستقبال بطريقتين.

1 يمكن مُزامنة حزمة مشكّلة رقمياً مع المرسل.

2 بالإضافة إلى ذلك، يمكن في آن معاً استقبال وكشف إشارات عدة صادرة من مرسلات أخرى (الرادارات المركبة في طائرات أخرى مثلاً) بواسطة هوائي متعدد الحزم (التوضيح أدناه).

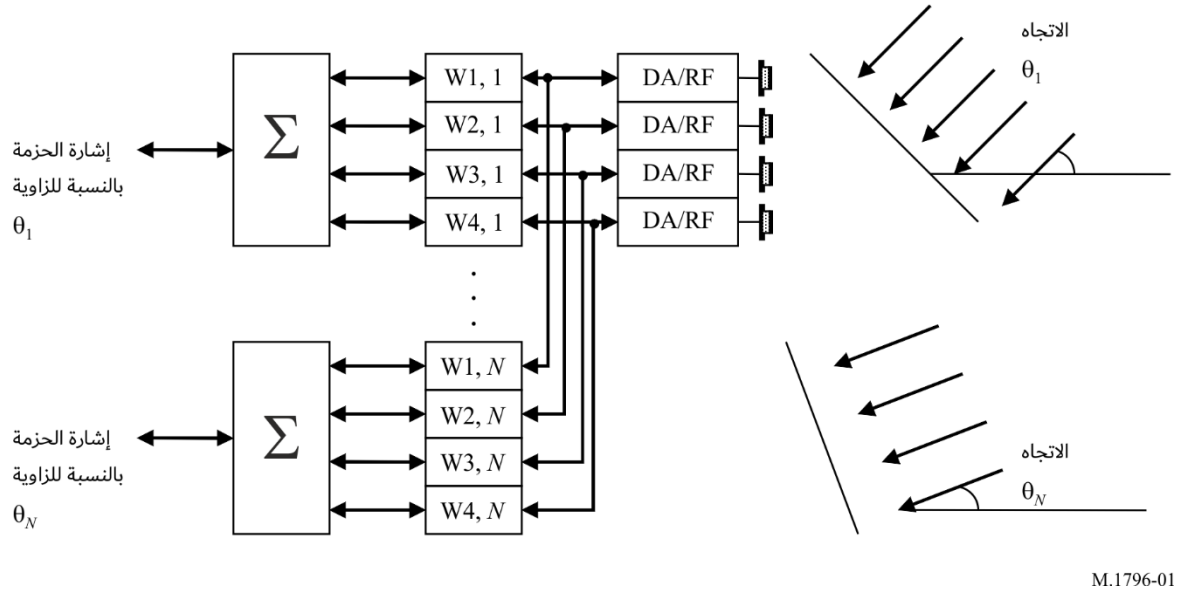
ويعني ذلك بالتالي أن آليات فك الاقتران تختلف عن الرادارات ذات الهوائيات التقليدية.

الهوائيات متعددة الحزم (انظر الشكل 1)

يوفر كل عنصر من عناصر الهوائي إشارة في النطاق الأساسي يمكن تثقيلها بالطور والاتساع ($W_{i,n}$) بواسطة إشارات النطاق الأساسي المثقّلة ($W_{j,n}$ الخاصة بالعناصر الأخرى). ويتمثل ذلك بواسطة متّجه توجيه خاص بأحد الاتجاهات. وتمثل الإشارة المستقبَلة في الاتجاه المحدد θ_n خرج هذه العملية الرياضية. وبجمع متّجهات التوجيه المختلفة في مصفوفة توجيه ذات العدد N من متجهات التوجيه، يصبح الهوائي قادراً في آن معاً على استقبال إشارات صادرة من الاتجاهات المختلفة θ_1 إلى θ_N. وتجدر الإشارة إلى أن المعالجات الرادارية الحديثة قادرة على أداء أكثر من 10^{12} عملية من عمليات النقطة الطليقة في الثانية، ما يمكّن من تنفيذ صفائف أكبر حجماً. ومن التنفيذات الممكنة على سبيل المثال تشكيل حزمة وفق محوّل فورييه السريع أو المعالجة الزمانية–المكانية للإشارات.

الشكل 1

هوائي متعدد الحزم



ثمة رادارات أخرى في نطاق التردد أكثر تخصصاً وتحصر المسح في قطاع ثابت. وتستخدم غالبية الرادارات في نطاق التردد MHz 10 680-8 500 المسح الميكانيكي، في حين تستعمل بعض رادارات الجيل الأحدث صفيف هوائيات تمسح إلكترونياً كما هو مبين. وتستعمل استقطابات أفقية ورأسية ودائرية. وتتراوح الارتفاعات النمطية لهوائيات الرادارات المقامة على الأرض والمحمولة على متن السفن بين 8 m و30 m فوق مستوى السطح على التوالي، رغم أن العديد من رادارات الملاحة الراديوية البحرية هي أقصر من 30 m.

3 خصائص تقنية وتشغيلية إضافية لأنظمة الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن في نطاق التردد MHz 9 500-9 200

يمكن التمييز بوضوح، بعبارات عامة، بين الرادارات المتطابقة مع متطلبات المنظمة البحرية الدولية (IMO) (بما في ذلك تلك المستعملة على سفن صيد الأسماك) وتلك المستعملة في الملاحة الداخلية (الأنهار) وتلك المركبة على زوارق الترفيه طوعياً لأغراض السلامة.

ترد في الجدول 5 مقارنات لقدرة المرسل وأعداد الرادارات للفئات الثلاث أعلاه.

الجدول 5

رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن

فئة الرادار	ذروة القدرة (kW)	المجموع الإجمالي
المنظمة IMO وصيد الأسماك	≥ 75	< 300 000
نهري	> 10	> 20 000
ترفيهي	> 5	< 2 000 000

وتُشغّل كل الرادارات تقريباً المستعملة على متن الزوارق النهرية والترفيهية في نطاق التردد 200 9-500 9 MHz. كما أن معظم رادارات المنظمة البحرية الدولية وزوارق صيد الأسماك تشغل أيضاً في النطاق نفسه، وإن كان عدداً كبيراً من رادارات IMO يشغل في النطاق 900 2-100 3 MHz.

وخصائص الرادار التي تؤثر على كفاءة استعمال الطيف، بما فيها معايير الحماية، هي تلك المرتبطة بهوائي الرادار والمرسِل/المستقبِل فيه. وتستعمل غالبية الرادارات البحرية صفيف هوائيات بفواصل، بيد أن بعض رادارات زوارق الترفيه تستعمل صفائف رقعية أو بوقية.

4 معلومات إضافية تتعلق برادارات الملاحة الراديوية البحرية

1.4 متطلبات الأداء وآثار التداخل

قد تعجز أنظمة الملاحة الراديوية عن الوفاء بمتطلبات أدائها إذا تسببت إشارات غير مطلوبة في كميات مفرطة من مختلف أنماط الانحطاط بسبب التداخل. وتبعاً للأنظمة المتفاعلة ولسيناريوهات التشغيل المحددة يمكن أن تشمل هذه الأنماط ما يلي:

- تأثيرات الانتشار، وأي إزالة تحسس أو انخفاض مدى الكشف، وزوال الأهداف وانخفاض معدل التحديث؛
- تأثيرات منفصلة، أي التداخل المكتشف وزيادة معدل الإنذارات الكاذبة.

وتصاحب أنماط الانحطاط هذه معايير حماية تقوم على أساس عتبة من قيم المعلمات، فبالنسبة لنظام تجنب الاصطدام مثلاً:

- التخفيض المسموح به في مدى الكشف وما يرتبط به من إزالة تحسس؛
- المعدل المسموح به من فقد المسح؛
- الحد الأقصى المسموح به من معدل الإنذارات الكاذبة؛
- المعدل المسموح به من فقدان الأهداف الحقيقية؛
- الأخطاء المسموح بها في تقدير موقع هدف.

والمتطلب التشغيلي للرادارات على متن السفن هو دالة السيناريو التشغيلي. وهذا مرتبط بالمسافة من الساحل وعوائق البحر. وعلى سبيل التبسيط توصف هذه السيناريوهات بأنها محيطية أو ساحلية أو مينائية.

اعتمدت المنظمة البحرية الدولية (IMO) مراجعة لمعايير الأداء التشغيلي للرادارات البحرية[1]. وتقرّ مراجعة المنظمة IMO، لأول مرة، إمكانية التداخل من خدمات راديوية أخرى.

وأهم ما في الأمر أن السلطات البحرية الدولية قد بيّنت، دون تحفظ، في آخر تحديث لاتفاقية المنظمة البحرية الدولية لحماية الحياة البشرية في البحر (SOLAS)، أن الرادار ما زال المحساس الأول من أجل تجنب الاصطدام.

ويتعين النظر إلى هذا البيان في سياق التزويد الإلزامي لبعض فئات السفن بأنظمة التعرّف الأوتوماتي (AIS) وتعتمد هذه الأنظمة على مراجع خارجية، كالنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) مثلاً، للتحقق من إشارة الموقع النسبي من حيث سيناريوهات تجنب الاصطدام.

غير أن تزويد السفن بهذه الأجهزة لا يمكنه مطلقاً أن يأخذ في الحسبان العديد من الأجسام البحرية، من قَبيل جبال الجليد وحطام السفن وما إلى ذلك من السفن غير المزوّدة بأنظمة التعرّف الأوتوماتي. وهذه الأجسام هي من الأسباب المحتملة لاصطدام السفن ومن ثم ينبغي الكشف عنها بواسطة رادارات السفن. ولذلك فإن الرادار سوف يبقى النظام الرئيسي لتجنّب الاصطدام في المستقبل القريب.

[1] قرار المنظمة البحرية الدولية MSC.192 (79)، اعتماد معايير أداء مراجعة لأجهزة الرادار، اعتُمد في 10 ديسمبر 2004.

ومن بين أهداف الرادار الأخرى، تذكر معايير IMO الحاجة لأن يكشف الرادار المخاطر الصغيرة العائمة والثابتة، فضلاً عن مساعدات الملاحة الثابتة. وهي تتطلب الكشف عن أهداف متنوعة محددة في ثمانٍ من عشر مسحات على الأقل وبمعدل إنذار كاذب يبلغ 10^{-4}. وتشمل الأهداف المحددة زوارق صغيرة ذات عاكس راداري يستوفي معايير أداء IMO بالإضافة إلى عوامات الملاحة والزوارق الصغيرة غير المزوّدة بعاكس راداري، كل منها ضمن مدى معيّن[2]. وتستلزم المعايير أيضاً دقة المدى والتقويم الزاوي ضمن 30 m و1°، على التوالي. وهي تدعو لإيجاد وسيلة للتخفيض الملائم للتداخل من رادارات أخرى. وتتطلب القدرة على عرض استبانة هدفين من نقطتين على نفس التقويم الزاوي لكن بتباعد 40 m في المدى، واستبانة هدفين من نقطتين متباعدتين بمقدار2,5° في التقويم الزاوي. وهي تدعو علاوة على ذلك إلى تقليل إمكانية تتبع هدف ما إلى أدنى حد بلداً من آخر ("تبادل الأهداف") والإنذار عند فقدان أثر هدف متتبّع، وهذا كله يؤثر على استبانة الهدف وأخطاء الموقع التي يمكن أن تتفاقم بسبب التداخل.

2.4 وصف خاص لرادار الملاحة البحرية الجديد S13

يتكون مرسل الرادار S13 من أدوات الحالة الصلبة التي تستخدم موجة الزقزقة وتتوافق مع متطلبات التصميم المحددة في معيار اللجنة الكهرتقنية الدولية IEC 62388 (معيار جديد للرادار – يوليو 2008) المتعلق بمتطلبات الأداء الدنيا لمنظمة الملاحة البحرية الواردة. وهذا الرادار قادر على العمل بعدد من الأساليب التي يتواءم كل واحد منها على أمثل وجه مع متطلب معين من متطلبات التشغيل. وأساليب التشغيل هي مراقبة الأنهار/القنوات، ومراقبة مصبّات الأنهار، ومراقبة السواحل، وأسلوب القدرة المنخفضة، والأسلوب المتعلق بتوجيه الطائرات المروحية في عمليات البحث. وتُعرض فيما يلي بعض أهم سمات الرادار S13:

- مرسل من أدوات الحالة الصلبة (أشباه النواقل) تستعمل فيه الترانزستورات بدل المغنطرون،
- المرسل والمستقبل فيه مترابطان،
- يستعمل التشكيل الترددي اللاخطي وضغط النبضات لاستعادة استبانة المدى،
- يتحدّد وجود الهدف بواسطة المعالجة الرقمية للإشارات التي تستخدم المعالجة الدوبلرية ومعدل للإنذارات الخاطئة الثابتة بعتبة متغيرة،
- طول الهوائي 3,7 أو 5,5 m وعرض الحزمة الأفقي أقل من 0,7 درجة (للهوائي بطول 3,7 m) وأقل من 0,45 درجة (للهوائي بطول 5,5 m)،
- يعمل بجهد منخفض،
- تمييز تردد تكرار النبض. يستعمل الرادار 3 أرتال لإرسال النبض بنبضات قصيرة تسمح بمدى أدنى قدره 30 m، ونبضات متوسطة وطويلة توفر أداء كشف بتردد فعال (PRF) لتكرار النبض قدره 2 268 Hz،
- يستعمل الرادار عدة أرتال على الهدف لكل عرض حزمة للهوائي،
- يستخدم تقنيات معالجة دوبلر،
- تبلغ القدرة الذروية 200 W مع قدرة دنيا قيمتها 170 W لدورة تشغيل بنسبة 13%،
- له طيف تردد راديوي متحكم فيه ومتوافق مع مواصفات الاتحاد الدولي للاتصالات ومجموعة منتقاة من 12 تردد راديوي للإرسال توفر تنوعاً في التردد لتحسين كشف الهدف،
- يتم توليد موجات الرادار رقمياً،
- توفر معالجة الإشارات حماية من الأصداء المحيطة المتكررة مع الوقت،

[2] معايير الأداء المراجعة للمنظمة البحرية الدولية فيما يخص عاكسات الرادار (القرار MSC.164(78)).

- يوفر تحسناً في الكشف وفي أداء نبذ الجلبة الناجمة عن الأمطار والبحر،
- يوفر الطاقة للكشف ويمتثل لقيود المنظمة البحرية الدولية بشأن المدى الأدنى،
- يتم الحفاظ على حجم خلية مدى الرادار على كامل المدى الاسمي،
- يتوفر فيه أسلوب القدرة المنخفضة لتخفيض قدرة الإرسال بقيمة 7 dB.

5 معلومات إضافية متصلة برادارات كشف وتفادي الطائرات بدون طيار

يجري حالياً تطوير فئة جديدة من الرادارات المحمولة جواً، المعروفة برادارات الكشف والتفادي (DAA)، لتحسين سلامة الرحلات الجوية من خلال إطلاق تحذيرات من اصطدامات أو نزاعات محتملة مع طائرة غير تعاونية. (وفي هذا السياق يقصد بالطائرة "غير التعاونية" الطائرة غير المجهزة بمرسل مجيب نظام المنارات الرادارية لمراقبة الحركة الجوية أو نظام الإذاعة للمراقبة الأوتوماتية التابعة (ADS-B) أو نظام التنبيه عن الحركة الجوية وتفادي الاصطدام أو نظام تفادي الاصطدام المحمول جواً). وتشمل مهمة هذه الفئة من الرادارات المحمولة جواً عدة وظائف متداخلة جزئياً يشار إليها بتفادي الاصطدام، وتفادي النزاعات، والفصل الذاتي، والفصل الآمن، والاستشعار والتجنب، والمراعاة الواجبة. وتحظى هذه الفئة من الرادارات باهتمام خاص في تطبيقات الطائرات بدون طيار (UA) التي لا يوجد على متنها طيّار يؤمن وظيفة سلامة الرحلة الجوية بشكل مرئي.

ويجب على رادارات الكشف والتفادي أن تتتبّع في مجال رؤيتها جميع الطائرات التي تنطوي على تهديد محتمل (تدعى "طائرات دخيلة") وأن تبحث في الوقت نفسه عن مصادر تهديد جديدة. وبما أن أكثر من طائرة دخيلة واحدة يمكن أن توجد عادة ضمن مجال رؤية الرادار، فهناك ضرورة لوجود جهاز تتبّع متعدد الأهداف. ويتطلب ذلك إما عملية تتبع أثناء المسح سريعة نسبياً أو بدلاً من ذلك وظائف مشذّرة للبحث والتتبّع في أسلوب يدعى "البحث أثناء التتبّع" يتم فيه تحديد مواعيد تحديثات التتبع كلما دعت الحاجة إلى ذلك. ويتطلب هذا النوع من العمليات مرونة في الحزمة تفوق قدرة الهوائي الذي يتم فيه المسح بطريقة ميكانيكية. ولهذا السبب تستعمل جميع رادارات الكشف والتفادي التي يجري تطويرها حالياً هوائيات تمسح إلكترونياً أو تقنيات تشكيل الحزمة لتوفير وظائف البحث والتتبع اللازمة.

ويعتمد المدى المطلوب للكشف والتتبع على طول الفترة الزمنية اللازمة لإطلاق الإنذار. ويعتمد ذلك بدوره على سرعة المنصة المضيفة (وتدعى "المركبة المضيفة")، وسرعة التهديدات المحتملة، وقدرة المناورة الخاصة بالمركبة المضيفة، ونمط مناورة التفادي (جانبية مقابل رأسية مثلاً)، وفترات التأخير قبل الشروع بمناورة التفادي وتنفيذها. فالطائرة بدون طيار السريعة نسبياً وذات الإمكانية المحدودة للمناورة تحتاج إلى جهاز استشعار ذي مدى أكبر مما لو كانت سرعتها أقل ولها إمكانية أكبر للمناورة. وعادة يتراوح المدى الذي يجب عنده إطلاق الإنذار المتعلق بالتهديد بين 2,5 و20 km تبعاً لخصائص المنصة المضيفة وخصائص الطائرة الدخيلة ومسافة الخطأ المطلوبة وأخطاء القياس. ويجب إقامة تتبع للهدف على مدى أكبر إلى حد ما من أجل توفير قدرة الإنذار هذه.

ويعتبر نطاق التردد 500 8-500 10 MHz مهماً لهذه الفئة من الرادارات لأنه يمثل حلاً وسطاً جيداً بين دقة التتبع والقدرة على العمل في مناطق الأمطار الخفيفة إلى المعتدلة. وبالرغم من أن الترددات الأعلى توفر لهوائي بحجم معين دقة أفضل في قياس الزوايا، فإن التوهين الناجم عن الأمطار يزداد مع ارتفاع التردد بسرعة أكبر بكثير من زيادة التحسن في دقة قياس الزوايا. ومن شأن الترددات الأدنى أن تحد كثيراً من تأثير المطر لكنها تتطلب فتحات للهوائي ربما أكبر من قدرة استيعاب المنصة المضيفة. ويسترعي الاهتمام الخاص في نطاق التردد هذا نطاقا تردد فرعيان (750 8-850 8 MHz و300 9-500 9 MHz) تم تحديدهما في التوصية ITU-R M.2204 كنطاقين مناسبين لهذا النوع من التطبيقات وجرى تخصيصهما لخدمات الملاحة الراديوية للطيران.

وتعرض فيما يلي الخصائص الأخرى لرادرات الكشف والتفادي (DAA):

- تستعمل عادة واجهتان أو ثلاثة لهوائي المسح الإلكتروني لتوفير تغطية سمتية على مدى ±110 درجات.

- تستعمل موجات ذات تردد متوسط لتكرار النبضة و/أو تردد مرتفع لتكرار النبضة (HPRF) مع ترددات لتكرار النبضة في المدى 5-60 kHz لتوفير نبذ للجلبة في حالة الأهداف التي تشاهد تحت خط الأفق. ولتوفير أداء المدى غير المبهم، يمكن استعمال موجات ذات تردد منخفض لتكرار النبضة مع ترددات لتكرار النبضة تبلغ تقريباً 1-2 kHz في حالة الأهداف التي تشاهد فوق خط الأفق.
- تستعمل مضخمات للقدرة RF بالحالة الصلبة يتراوح فيها عامل استعمال المرسِل بين 4 و20%.
- يستعمل غالباً في ضغط النبضات تشفير الطور داخل النبضة (LFM) (مثل شفرات بيكر، وشفرات الضوضاء شبه العشوائية، وشفرات *لويس–كريتشمر* متعددة الأطوار "P"، إلخ.) لتخفيض حجم خلية المدى من أجل تحسين نسبة الهدف إلى الجلبة والحفاظ في الوقت نفسه على عامل استعمال مرتفع.
- توفر المعالجة الرقمية للإشارات عرض نطاق للمرشاح الدوبلري في المدى 50-500 Hz يتيح تمييز الهدف على أساس السرعة ويسهل نبذ الجلبة.
- يسمح قياس الزوايا الأحادي النبضة بتتبع دقيق للزوايا على الموجات العائدة من أهداف متقلّبة.
- يمكن استعمال رشاقة التردد لفك ترابط تقلبات الهدف، ما يحسّن من إمكانية الكشف ونوعية التتبع.
- يمكن استعمال هوائي حارس (يسمى أيضاً رادار طمس الفصوص الجانبية) للتخفيف من أثر جلبة الأرض والتداخل الناجم عن الفصوص الجانبية للهوائي.

وترد في الجدول 1 خصائص رادار نموذجي من نوع DAA (النظام A13).

6 أنظمة الاستدلال الراديوي المستقبلية

من المرجّح أن تكون الرادارات القادمة للاستدلال الراديوي القادرة على العمل في نطاق التردد 500 8- 680 10 MHz مشابهة في خطوطها العريضة للرادارات القائمة الموصوفة هنا. وستصمم شبكة رادارات الطقس الدوبلرية الموزعة من أجل الاستخدام الفعال، باستعمال تشغيل حالة صلبة منخفضة القدرة، بالإضافة إلى توفير معاينة عالية للاستبانة على امتداد طبقة التروبوسفير برمّتها. أما المعلمات التقنية الأخرى من قبيل هوائي قطره متر واحد وأساليب تشغيل بدورة تشغيل منخفضة فهي متّسقة مع رادارات الاستدلال الراديوية العاملة في نطاق التردد 500 8-680 10 MHz. والأرجح أن تتسم الرادارات المستقبلية للاستدلال الراديوي بذات القدر من المرونة، على الأقل، التي تتسم بها الرادارات التي سبق وصفها، بما في ذلك القدرة على التشغيل بشكل مختلف في قطاعات مختلفة في السمت وفي الارتفاع.

ومن المعقول توقُّع أن تسعى بعض التصميمات المستقبلية إلى القدرة على التشغيل في نطاق تردد عريض يمتد على الأقل إلى حدود نطاق التردد المستعمل في هذه الدراسة.

والأرجح أن تزوّد رادارات الاستدلال الراديوية المستقبلية بهوائيات توجه حزمتها إلكترونياً. والتكنولوجيا القائمة حالياً تجعل التوجيه الطوري بديلاً عملياً وجذاباً، والكثير من رادارات الاستدلال الراديوي المطوّرة في السنوات الأخيرة للاستخدام في نطاقات أخرى استعمل التوجيه الطوري في السمت والارتفاع على السواء. وعلى نقيض الرادارات موجهة التردد (مثل النظامين 15 و17) يمكن أن توجه رادارات الصفيف المطاور أي تردد أساسي في نطاق تشغيل الرادار إلى أي سمت وارتفاع اعتباطيين ضمن منطقة تغطيتها الزاويّة. ومن المزايا الأخرى لهذه التقنية أنها تسهّل المواءمة الكهرمغنطيسية في ظروف عديدة.

ويتوقع أن يكون لبعض رادارات الاستدلال الراديوي المستقبَلية قدرة متوسطة بنفس ارتفاع قدرة الرادارات الموصوفة هنا على الأقل. غير أنه من المعقول توقع أن يسعى مصممو الرادارات المستقبَلية إلى تخفيض بث الضوضاء عريضة النطاق دون إرسالات الرادارات الحالية التي تستعمل مغنطرونات أو مضخمات المجال المتقاطع. ومن المتوقع إنجاز هذا التخفيض في الضوضاء باستعمال أنظمة مرسل هوائي الحالة الصعبة. وفي هذه الحالة ستكون النبضات المرسلة أطول من حيث المدة وستكون دورات تشغيل الإرسال أعلى بشكل ملموس مقارنة بمرسِلات الرادارات الأنبوبية الحالية.

الملحق 2

معايير الحماية من أجل الرادارات

1 معايير الحماية

1.1 التداخل المستمر الشبيه بالضوضاء

تتأثر الرادارات بإشارات غير مطلوبة أساساً ذات أشكال مختلفة، ويسود اختلاف حاد بين آثار الطاقة المستمرة الشبيهة بالضوضاء وآثار النبضات. إذ يلحق تداخل الموجة المستمرة من النمط الشبيه بالضوضاء أثراً مزيلاً للحساسية على رادارات الاستدلال الراديوي، وهذا الأثر مرتبط بشدة هذا التداخل على نحوٍ متوقّع. وفي أي قطاع من السمت يحدث فيه هذا النمط من التداخل تكون إضافة الكثافة الطيفية لقدرة هذا التداخل إلى الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الحرارية لنظام الرادار كافية للحصول على نتيجة تقريبية معقولة. وإذا كانت قدرة الضوضاء في نظام الرادار في غياب التداخل هي N وتلك الخاصة بالتداخل الشبيه بالضوضاء هي I، تكون قدرة الضوضاء الفعلية الناتجة هي $I + N$ ببساطة.

وبالنظر إلى أن معايير حماية الرادار الموضوعة عادة في قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد تستند إلى التبعات المترتبة على الحفاظ على نسبة الإشارة للضوضاء عودة الهدف في وجود تداخل، مما يتطلب زيادة قدرة عودة الهدف بالتناسب مع الزيادة في الضوضاء من N إلى $I + N$. ولا يتحقق ذلك إلا بقبول مديات قصوى أقصر على أهداف معيّنة، أو التضحية بأهداف صغيرة، أو تعديل الرادار لزيادة قدرة إرساله أو زيادة ناتج قدرة الفتحة. (في الرادارات الحديثة، تقارب ضوضاء النظام المستقبل عادةً حد أدنى غير قابل للتخفيض بحيث تصبح المعالجة المثلى للإشارة باتت أمراً شائعاً).

وتختلف هذه التبعات وفقاً لوظيفة الرادار وطبيعة أهدافه. وبالنسبة لمعظم الرادارات، من شأن مستوى الضوضاء الفعلية بنحو 1 dB أن يصيب الأداء بأقصى حد محتمل من الانحطاط. في حالة هدف منفصل بمقطع عرضي راداري متوسط أو وسيط (RCS)، فإن هذه الزيادة ستخفض مدى الكشف بحوالي 6% بغض النظر عن أي خصائص تقلبات المقطع العرضي الراداري لذلك الهدف. وينتج هذا الأثر من واقع أن مدى الفضاء الحر القابل للتحقيق يتناسب مع الجذر الرابع لحاصل نسبة قدرة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) وفق المعادلة المألوفة جداً لمدى الرادار. فزيادة تبلغ 1 dB في قدرة الضوضاء الفعلية تقابل عامل يبلغ 1,26 في القدرة، فإن ظل دون تعويض فسوف يتطلّب من هدف منفصل انخفاضاً في مدى الفضاء الحر بعامل قدره $1/(1{,}26^{1/4})$ أو 1/1,06، أي خفضاً في قدرة المدى تقارب 6%. وفي معادلة المدى، تتناسب النسبة SNR طردياً أيضاً مع قدرة المرسل، ومع ناتج القدرة مع فتحة الهوائي (من أجل رادار مراقبة)، ومع المجال المتقاطع لرادار الهدف. وعلى التبادل، يمكن التعويض عن زيادة تبلغ 1 dB في قدرة الضوضاء الفعلية بالاستغناء عن كشف الأهداف باستثناء تلك التي لها مجال راداري قدره 1,26 مثل الحجم الأدنى للهدف الممكن كشفه في منظومة خالية من التداخل، أو بزيادة قدرة مرسل الرادار أو جداء قدرته مع فتحة هوائيه بقدر 26%. وتشكّل أي من هذه البدائل حد المقبولية بالنسبة لما تتطلّع إليه معظم الأنظمة الرادارية، وقد تكون التعديلات مكلفة أو غير عملية أو مستحيلة، لا سيما في الرادارات المتنقلة. بالنسبة للأهداف المتقطعة، تسري تبعات الأداء هذه على أي احتمال للكشف وعلى أي معدل للإنذارات الكاذبة وعلى أي خصائص لتقلّب الهدف.

تختلف رادارات تجنّب أخطار الطقس ورصد الطقس المحمولة جواً عن رادارات الأهداف المتقطعة بأن لها أهداف ممتدة، وهي الهواطل عادةً، التي كثيراً ما تملأ حزمة الرادار بالكامل (وهي ضيقة عادةً إلى حدٍّ ما). وفي الشكل المقابل لمعادلة مدى الرادار، تتناسب نسبة SNR عكسياً مع الجذر العكسي للمدى بالأحرى لا مع عكس الأس الرابع له. فبالنسبة لرادار طقس يرصد مطراً يملأ الحزمة، فإن خفض المدى من أجل دقة معيّنة من تقدير معدل هطول المطر سيكون الجذر التربيعي للعامل 1 dB أي $(1{,}26)^{1/2}$ الذي يساوي 1,12. من ثم فإن هناك خسارة تبلغ 12% في قدرة المدى في وجود مثل هذا التداخل الذي يقابل أيضاً خسارة تبلغ 21% في منطقة التغطية. وعلى التبادل، بالنسبة لمدى معيّن، سيرفع التداخل (أي يحط من) انعكاسية الطقس القابلة للقياس بحوالي 26% دون مراعاة خصائص تقلّب انعكاسية الطقس.

تؤدي الرادارات ذات الفتحات التركيبية (SAR) تكاملاً متّسقاً لنبضات العودة خلال الوقت اللازم لكي تعبر RF التردد الراديوي حزمة الهوائي كل بكسل في المشهد المرصود بموجب حركة منصة الرادار. ونظراً لأن عرض إضاءة الحزمة على الأرض يتناسب طرداً مع المدى (يتناسب عادة مع ارتفاع منصة الرادار ويزداد مع زاوية المنطقة)، فإن عدد النبضات المتيسرة للتكامل وبالتالي كسب معالجة التكامل نسبةً إلى الضوضاء يتناسبان أيضاً مع المدى. وبالقدر الذي تسمح به مرونة التصميم، تُعدَّل نسبة SNR للخرج (المعالج) من التناسبية إلى عكس الأس الرابع للمدى، السائد في هدف متقاطع يرصده رادار ذو فتحة حقيقية، إلى التناسبية مع عكس الأس الثالث للمدى. وهكذا، فإن زيادة تبلغ 1 dB في قدرة الضوضاء الفعالة، أي زيادة بعامل 1,26 في القدرة، ستتطلب خفضاً في مدى رادار SAR من تضاريس أرض معيّنة يراد تصويرها، بعامل $1/(1{,}26^{1/3})$ أو 1/1,077 أي بخسارة 7,7%. فإن سمحت القيود التشغيلية بمثل هذا الخفض في المدى، سيتسبب ذلك بدوره في تخفيض مقابل في معدل جمع بيانات التصوير. ويقع هذا الكسب على حدود المقبولية. والخيار الآخر هو رفع متوسط قدرة مرسل SAR بنسبة 26% وهو أيضاً على حدود المقبولية.

1.1.1 تجميع مساهمات التداخل

الزيادة البالغة 1 dB المشار إليها على طوال المناقشات أعلاه تقابل نسبة $(I + N)/N$ قدرها 1,26 أو قيمة للنسبة I/N تساوي حوالي −6 dB. ويمثّل ذلك الأثر الإجمالي المسموح به لجميع مصادر التداخل. وهو ينطبق على الاستقبال عبر الحزمة الرئيسية للرادار بالإضافة إلى الاستقبال المتزامن عبر الفصوص الجانبية. لذا تتوقف قيمة النسبة I/N المقبولة من أجل تداخل شبيه بالضوضاء على عدد مصادر التداخل وهندسيتها، حيث ينبغي تحليلها ضمن سيناريو معيّن. وهذا ما يستتبعه واقع أن معظم الرادارات في هذا النطاق تقريباً تخضع لأهداف الظروف المحيطة، وترصد أهدافاً غير متعاونة، ولا تستفيد من الإطناب بما في ذلك إعادة إرسال الرزم التي يتزايد استعمالها أكثر فأكثر باستمرار في تكنولوجيات الاتصالات. والاستشعار أساساً، بما في ذلك الرادار، هو استعمال مختلف جذرياً لطيف التردد الراديوي عن الاتصالات، ولذلك لا تعتبر نفس قواعد الحماية من التداخل مناسبة لكليهما.

2.1 التداخل النبضي

كمية التداخل النبضي أكثر صعوبة وتتوقف إلى حد بعيد على تصميم المستقبِل–المعالج وأسلوب تشغيل النظام. وبشكل خاص فإن الكسوب الناتجة عن المعالجة التفاضلية لعودة الهدف الصالح (المنبّض بشكل متزامن) ولنبضات التداخل (غير المتزامنة عادة) غالباً ما يكون لها آثارٌ هامة على مستويات معينة من التداخل النبضي. ويمكن أن يؤدي مثل هذا التداخل إلى أشكال مختلفة من انحطاط الأداء، ويشكل تقييمه هدفاً بالنسبة لتحاليل و/أو اختبار التفاعلات بين أنماط محددة من الرادارات. ويتوقع عادة أن تساهم الخصائص العديدة لأنماط الرادارات الوارد وصفها هنا في كبت التداخل النبضي ذي دورة تشغيل منخفضة وخصوصاً الصادر من بضعة مصادر معزولة. وتقنيات كبت التداخل النبضي ذي دورة التشغيل المنخفضة واردة في التوصية ITU-R M.1372 – كفاءة استعمال الطيف الراديوي من قِبل محطات الرادار في خدمة الاستدلال الراديوي.

2 معايير حماية رادارات الملاحة الراديوية على متن السفن

لا يوجد بعد أي اتفاق دولي بشأن معايير الحماية المطلوبة بشأن الرادارات المركبة حالياً على متن السفن بالنسبة للسيناريوهات المحددة أعلاه. غير أن التوصية ITU-R M.1461 تحدد مستوى تنوعية التداخل/الضوضاء بمقدار –6 dB.

قامت المنظمة البحرية الدولية بمراجعة معايير الأداء التشغيلي للرادارات المحمولة على متن السفن وتراعي هذه المراجعة المتطلبات التي وضعها الاتحاد الدولي للاتصالات مؤخراً بالنسبة للبث غير المطلوب. وتقر مراجعة IMO، لأول مرة، إمكانية التداخل من خدمات راديوية أخرى وتتضمن متطلبات جديدة فيما يتعلق بالكشف عن أهداف محددة من حيث المقطع العرضي الراداري (RCS) (المتقلب) والمدى المطلوب، كدالة لنطاق ترددات الرادار. ويعتمد الكشف عن هدف ما على استبانته في ثمانٍ من عشر مسحات على الأقل وعلى احتمال إنذار كاذب بمقدار 10^{-4}. وتحدد متطلبات الكشف هذه في غياب جلبة البحر ومجرى الإهطال والتبخر، على أن يكون ارتفاع الهوائي 15 m فوق منسوب البحر.

وأهم ما في الأمر أن السلطات البحرية الدولية قد بيّنت، دون تحفظ، في آخر تحديث لاتفاقية المنظمة البحرية الدولية لحماية الحياة البشرية في البحر، أن الرادار ما زال المحساس في المقام الأول من أجل تجنب الاصطدام.

ويتعين النظر إلى هذا البيان في سياق التزويد الإلزامي بأنظمة التعرف الأوتوماتي (AIS) الذي يقتصر على تلك السفن المدرجة في قائمة المنظمة IMO فيما يتعلق بمتطلبات الحمولة. وتعتمد هذه الأنظمة على مراجع خارجية، كالنظام العالمي لتحديد المواقع مثلاً، للتحقق من دلالة الموقع النسبي من حيث سيناريوهات تجنب الاصطدام.

غير أن تزويد السفن بهذه الأجهزة لا يمكنه مطلقاً أن يأخذ في الحسبان العديد من الأجسام البحرية، من قَبيل جبال الجليد وحطام السفن العائم وما إلى ذلك من السفن غير المزوّدة بأنظمة التعرف الأوتوماتي. وهذه الأجسام هي من الأسباب المحتملة لاصطدام السفن ومن ثم ينبغي الكشف عنها بواسطة رادارات السفن. ولذلك فإن الرادار سوف يبقى النظام الرئيسي لتجنب الاصطدام في المستقبل القريب.

وقد أفضت المناقشة المكثفة مع السلطات البحرية، بما في ذلك المستعملون، إلى وضع متطلب تشغيلي مفاده أنه لا يمكن قبول أي تداخل يمكن التحكم به بالتنظيم وذلك أثناء جميع الرحلات البحرية.

وفي غضون ذلك، فإن النهج المتبع هو القيام باختبارات لتحديد ما يمكن أن تقبله الرادارات المحمولة على متن السفن حالياً من قيم للنسبة تداخل إلى ضوضاء (*I/N*) كدالة لاحتمال الكشف (انظر الملحق 3).

الملحق 3

نتائج اختبارات التداخل

1 اختبارات للنسبة تداخل إلى ضوضاء في الرادار

قبل اعتماد معايير IMO المراجعة، أُجريت اختبارات رادارية في الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة لتحديد قابلية تأثر رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن في الوقت الراهن من مختلف أشكال التداخل.

استعملت الاختبارات رادارات تعمل في نطاقي التردد 900 2-100 3 MHz و200 9-500 9 MHz. ويجري البحث هنا في اختبارات نطاق التردد 200 9-500 9 MHz فقط. وتُعرض نتائج الاختبارات في شكل احتمال الكشف كدالة لنسبة التداخل إلى الضوضاء (*I/N*) فيما يتعلق بكل نمط من مصادر التداخل.

ويجدر ملاحظة أنه لا توجد أي مواصفات للاتحاد الدولي للاتصالات أو مواصفات متفق عليها دولياً لمستقبِلات الرادارات البحرية ولذلك ليس هناك ما يدعو للدهشة من وجود طائفة واسعة من خصائص المستقبِلات العاملة في هذه البيئة التشغيلية. وتعكس نتائج الاختبارات هذه الطائفة وتشير إلى استمرار تراجع احتمال الكشف بارتفاع مسمى التداخل وإلى "نقطة القطع" على السواء بحيث لا يتمكن المستقبِل من قبول المستوى المحدد من التداخل.

وهذه الاختلافات حقيقية وهي قائمة في الرادارات العاملة حالياً.

1.1 خصائص رادارات محددة خاضعة للاختبار

ينتمي كلا الرادارين، المشار إليهما D وE إلى فئة رادارات المنظمة البحرية الدولية. ولم يُختبر أيٌّ من رادارات الزوارق الترفيهية. والقيم الاسمية للمعلمات الرئيسية للرادارات مستقاة من وثائق الموافقة على النمط التنظيمي ومن كُتيّبات المبيعات والأدلة التقنية. ويستعمل رادار الفئة E مضخماً/كاشفاً خوارزمياً في تصميم مستقبله، أما رادار الفئة D فيستعمل مضخماً لوغاريتمياً متبوعاً بكاشف فيديوي منفصل. وفي جميع الرادارات لم يجرِ تنشيط ضبط زمن الحساسية (STC) أو ثابت الزمن السريع (FTC) من أجل الاختبارات.

وخصائص الرادارين D وE معروضة أدناه في الجدولين 6 و7.

الجدول 6

معلمات الرادار D

المعلمة	القيمة			
التردد (MHz)	9 410 ± 10			
قدرة النبضة (kW)	30			
المدى (nmi)	1,5-0,125	24-3	48	96
عرض النبضة (µs)	0,070	0,175	0,85	1,0
تردد تكرار النبضة (PRF) (Hz)	3 100	1 550	775	390
عرض نطاق IF (MHz)	22	22	6	6
رفض الاستجابة الهامشية (dB)	غير معروفة			
رقم ضوضاء النظام (dB)	5,5			
عرض نطاق التردد الراديوي (MHz)	غير معروفة			
معدل مسح الهوائي (rpm)	24/48			
عرض حزمة الهوائي الأفقية (بالدرجات)	1,2			
عرض حزمة الهوائي الرأسية (بالدرجات)	25			
الاستقطاب	أفقي			

الجدول 7

معلمات الرادار E

المعلمة	القيمة		
التردد (MHz)	10 ± 9 410		
قدرة النبضة (kW)	30		
المدى (nmi)	3-0,125	24-6	96-48
عرض النبضة (µs)	0,050	0,25	0,80
تردد تكرار النبضة (Hz)	1 800		785
عرض نطاق IF (MHz)	20	20	3
رفض الاستجابة الهامشية (dB)	غير معروفة		
سوية ضوضاء النظام (dB)	4		
عرض نطاق التردد الراديوي (MHz)	غير معروفة		
معدل مسح الهوائي (rpm)	25/48		
زمن مسح الهوائي (s)	2,4/1,25		
عرض حزمة الهوائي الأفقية (بالدرجات)	2,0		
عرض حزمة الهوائي الرأسية (بالدرجات)	30,0		
الاستقطاب	أفقي		

2.1 سمات كبت التداخل في مستقبِل الرادار

يستخدم كلا الرادارين مجموعة دارات ومعالجة إشارة لتقليل التداخل من رادارات أخرى في نفس الموقع. ويستخدم كلا الرادارين D وE وسائل ربط من نبضة إلى نبضة ومن مسح إلى مسح لتقليل التداخل من رادارات أخرى. ولا تتوفر في الرادارين تقنيات ثبات معدل الإنذار الكاذب (CFAR). ويرد وصف تقنيات تقليل التداخل هذه في التوصية ITU-R M.1372.

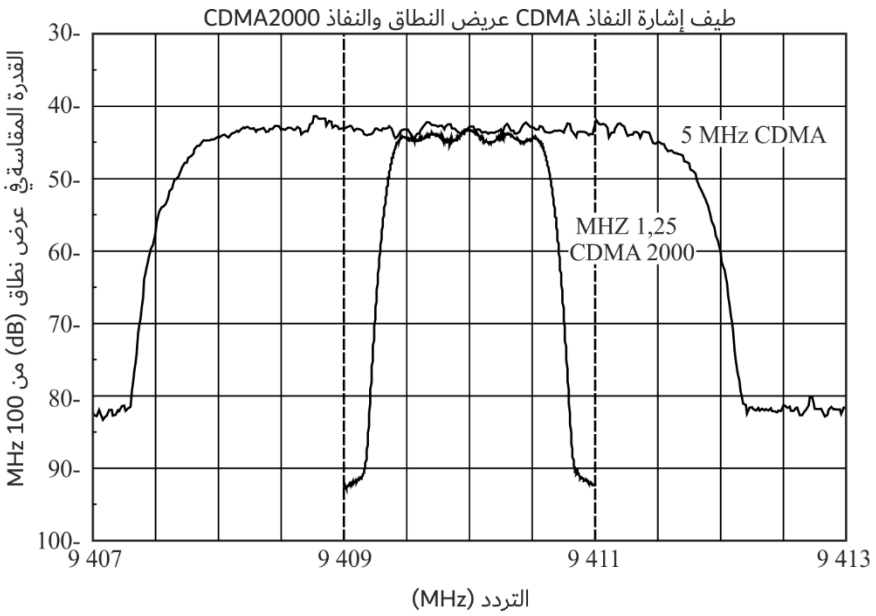
3.1 الإشارات والأهداف المتداخلة

تشمل الإشارات المتداخلة نبضات ومهاتفة رقمية متنقلة. ويحاكي مصدر النبضات دخل التحديد الراديوي للموقع. واستُعمل عرضاً نبضة يبلغ 1 µs و2 µs مع ترددات PRF تساوي دورتي تشغيل 0,1% و1%. بينما يحاكي مصدر المهاتفة الرقمية المتنقلة إشارتي CDMA تنوعيتين إحداها بعرض نطاق 5 MHz والأخرى بعرض نطاق 1,25 MHz.

كان البث عند تردد التوليف مع التردد التشغيلي للرادارات ومبوبة مع الأهداف الجارية محاكاتها. وتبيّن أطياف بث إشارتي CDMA المتداخلتين في الشكل 2 أدناه.

الشكل 2

إشارة CDMA التنوُعيتين



M.1796-02

4.1 توليد هدف غير متقلب

استخدمت مجموعة من مولدات الإشارات الموجية العشوائية، ومولدات إشارات التردد الراديوي، وتشكيلة دارات منفصلة، وحاسوب شخصي محمول، ومكونات ترددات راديوية أخرى (من كبلات وقارات ومضمامات وغيرها)، لتوليد عشرة أهداف متساوية التباعد على امتداد نصف قطر قدره ثلاثة أميال بحرية (~5,6 km) ولها نفس مستوى قدرة التردد الراديوي. وجرى تعديل مستوى القدرة في الأهداف المصطنعة إلى أن بلغ احتمال كشف الهدف نحو 90%. وتحدث نبضات الأهداف العشرة التي يطلقها كل رادار جميعها ضمن زمن عودة واحد من تدريجات الرادار قصيرة المدى، أي ضمن "كنسة" واحدة. وهكذا فإن النبضات تحاكي عشرة أهداف على امتداد نصف القطر، أي اتجاه زاوي وحيد. ولتعديل أوضاع العرض حُدّدت قدرة التردد الراديوي في مولّد الهدف عند مستوى بحيث تكون الأهداف العشرة كلها مرئية على امتداد نصف القطر في لوحة مؤشر موقع النبضة (PPI) ووُضعت مفاتيح تحكّم فيديو الرادار في أوضاع تشغيل عادية. وقد تم التوصل إلى قيم خط الأساس لوظائف البرمجية التي تتحكم في معايير لمعان ودرجة لون وتباين الهدف والخلفية من خلال عملية اختبار من قِبل العاملين القائمين بالاختبار وبمساعدة من المصنّعين والبحارة المحترفين ممن لديهم الخبرة في تشغيل هذه الأنماط من الرادارات على متن سفن من مختلف الأحجام. وبمجرد تحديد هذه القيم استُخدمت طوال مراحل برنامج اختبار ذلك الرادار.

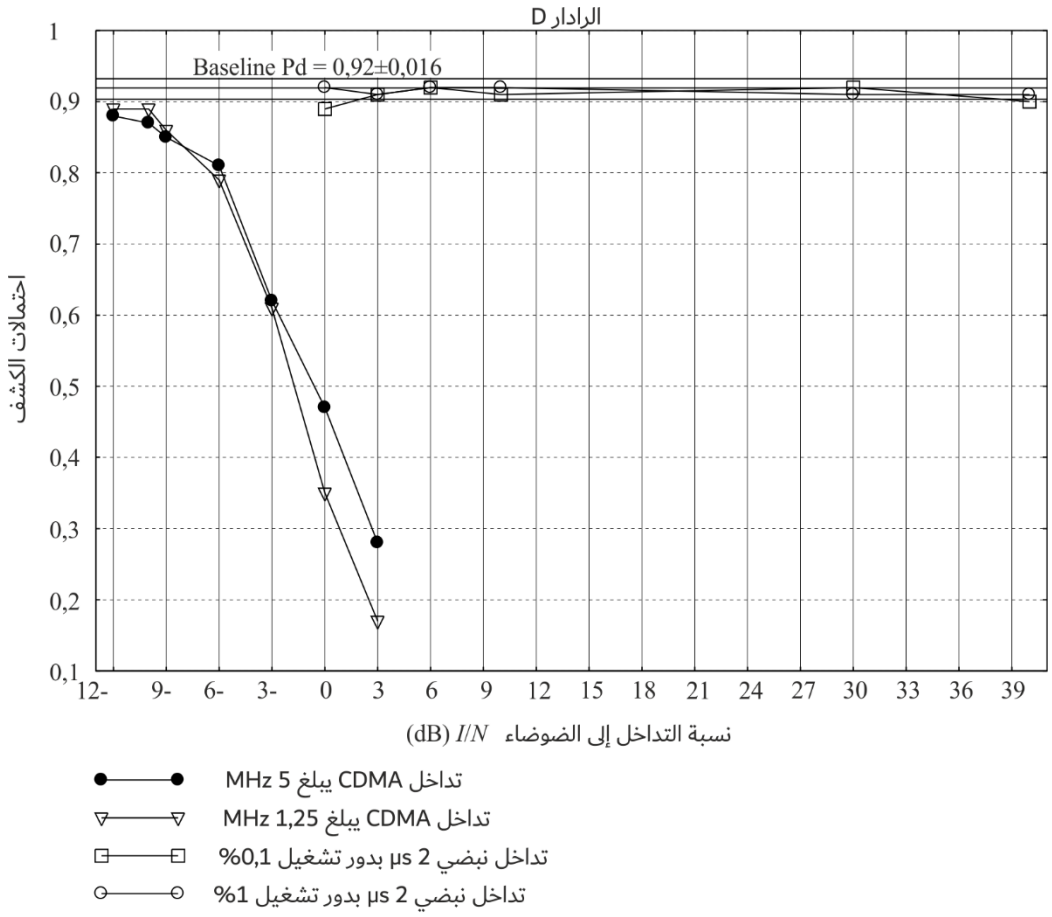
5.1 نتائج الاختبار

1.5.1 الرادار D

بالنسبة للرادار D كان من الممكن رصد تأثير الإشارات غير المطلوبة على الأهداف منفردة. وبالنسبة لكل إشارة غير مطلوبة أمكن تعداد التناقص في عدد الأهداف المرئية على لوحة PPI كلما ازداد مستوى النسبة *I/N*. وجرى تعداد الأهداف عند كل مستوى *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. كما جرى تعداد احتمالات كشف الأهداف، P_d، عند خط الأساس قبل بداية كل اختبار. ونتائج الاختبارات التي أُجريت على الرادار D مبيّنة في الشكل 3 أدناه، الذي يبيّن احتمال كشف الهدف، P_d، مقابل مستوى *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. وخط الأساس، P_d، في الشكل 3 هو 0,92 حيث شريط خطأ سيغما 1 بمقدار 0,016 فوق تلك القيمة ودونها. ويلاحظ أن كل نقطة في الشكل 3 تمثل ما مجموعه 500 هدف منشود.

الشكل 3

منحنيات احتمال الكشف في الرادار D



M.1796-03

يبيّن الشكل 3 أن احتمال كشف الهدف P_d، باستثناء حالة التداخل النبضي، قد انخفض دون خط الأساس P_d المستخدم في هذه الاختبارات ناقصاً الانحراف المعياري لقيمة *I/N* التي تتجاوز –12 dB لإشارة CDMA غير المطلوبة.

2.5.1 الرادار E

بالنسبة للرادار E كان من الصعب حساب التناقص في الهدف P_d عند حقن التداخل في مستقبِل الرادار. وتسبب التداخل في خبو جميع الأهداف بنفس المعدل أياً كان موقعها في سلسلة الأهداف. ولم يكن من الممكن جعل فُرادى الأهداف "تختفي" بزيادة قدرة التداخل وتعداد الأهداف المفقودة لحساب احتمال الكشف P_d. ولذلك فإن البيانات المأخوذة للرادار E تعكس ما إذا كان ظهور جميع الأهداف يتأثر أم لا عند كل مستوى *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. وبيانات الرادار E موجزة أدناه في الجدول 8.

الجدول 8

الرادار E يتعرّض لتداخل النفاذ CDMA المبوّب

(dB) *I/N*	CDMA MHz 5	CDMA 2000 MHz 1,25
12–	لا تأثير	لا تأثير
10–	لا تأثير	لا تأثير
9–	لا تأثير	لا تأثير
6–	أهداف معتمة	أهداف معتمة
3–	أهداف معتمة	أهداف معتمة
0	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
3	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
6	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية

تبيّن البيانات الواردة في الجدول 8 أن إشارات النفاذ CDMA غير المطلوبة قد أثرت على إمكانية رؤية الأهداف من جانب الرادار E على لوحته PPI عند مستوى *I/N* قدره –6 dB. وعند هذا المستوى كانت درجة لمعان الأهداف على لوحة PPI أعتم بشكل ملحوظ من حالتها عند خط الأساس. وعند مستويات *I/N* تساوي 0 dB فأكثر، عتمت الأهداف بحيث إنها لم تعُد مرئية على لوحة PPI.

وبالنسبة للرادار E، فإن التداخل النبضي المبوّب بمقدار 2,0 و1,0 µs ودورات تشغيل بنسبة 0,1 و1,0% لم يؤثر على إمكانية رؤية الأهداف على اللوحة PPI عند أعلى مستوى *I/N*، والذي كان بمقدار 40 dB.

6.1 موجز نتائج الاختبارات

أُجريت اختبارات على رادار الغرض منها أن تحدد، بالنسبة لرادارات ومصادر تداخل معيّنة مستوى *I/N* "لا يتأثر" من التداخل (أي أن الرادار يشغل في ظروف خط الأساس). ولوحظ و/أو اعتبر بمثابة أهداف في هذه الاختبارات بعض عودات الرادار في المعالجة المعروفة عموماً باسم "ومضات" أو "فيديو خام".

ومستوى "عدم التأثر" هذا يوصف على اعتباره نسبة احتمال كشف قدره 90 في المائة يُوجز فيما يلي في شكل نسبة التداخل إلى الضوضاء *I/N* لكل رادار ولكل مصدر تداخل. والنتائج موجزة في الجدول 9. وقد يكون تقرير الكمية المقبولة من التداخل لهذه الأنماط من الرادارات مسألة ذاتية إلى حد ما وذلك بسبب حدّة بصر وخبرة عامل الرادار الذي يراقب لوحة PPI ويعد الأهداف ويقدّر درجة لمعان الأهداف ذاتها. ولكن، نظراً لتصميم الرادار، لا توجد وسيلة أخرى لإجراء هذه الاختبارات سوى أن يقوم العامل/المختبر بمراقبة الأهداف على لوحة PPI في الرادار.

الجدول 9

موجز النتائج

مصدر التداخل	الرادار D	الرادار E
نبضي 0,1	40+	40+
نبضي 1,0	40+	40+
CDMA 2000 MHz 1,25	10–	9–
CDMA MHz 5	12–	9–

وجدير بالملاحظة أن هنالك تأثيرات أخرى من التداخل تُخفّض من الفعالية التشغيلية في رادار ما. وكمثال لذلك توليد "أهداف كاذبة". والرادارات المحمولة على متن السفن والتي جرى اختبارها لا تحتوي عموماً على معالجة "معدل الإنذارات الخاطئة الثابتة" (CFAR).

وتُبيّن نتائج هذه الاختبارات، عندما يتجاوز بث أجهزة تستخدم تشكيلات رقمية وتكون موجّهة نحو رادار من النمط المختبر هنا مستوى نسبة *I/N* قدرها –6 dB، أن بعض الرادارات بدأت أهدافها تعتم أو تختفي أو بدأت تولد أهدافاً كاذبة. وبالنسبة لرادارات أخرى عند مستوى *I/N* هذه ظهرت هذه التأثيرات فعلاً. ولا يُوصى، في الوقت الراهن، بأي مستوى مطلوب من *I/N* في أي سيناريو معيّن يختلف عن المستوى المحدد أصلاً (أي *I/N* = –6 dB).

ولا ينتمي أيٌّ من الرادارات المختبرة إلى فئة الزوارق الترفيهية. وتمثل هذه الفئة من الرادارات أكبر فئة في حد ذاتها من حيث العدد (هنالك حالياً أكثر من مليوني وحدة في شتى أنحاء العالم). ورادارات فئة زوارق النزهة لا تتوفر فيها تسهيلات تجنب التداخل التي تتوفر في الرادارين D وE وقد تتطلب المزيد من الحماية لكي تتمكن من تلبية متطلباتها من حيث تجنّب الاصطدام.

وتبيّن الاختبارات أن بإمكان الرادارات تحمّل التداخل النبضي ذي دورة الخدمة المنخفضة عند مستويات *I/N* مرتفعة وذلك بسبب إدراج جملة دارات لتخفيف التداخل بين رادار وآخر و/أو معالجة الإشارة. وقد تبيّن أن تقنيات تخفيف التداخل بين رادار إلى رادار التي تعتمد اقتران المسحة مقابل المسحة والنبضة مقابل النبضة ومعالجة معدل إنذار كاذب ثابت الموصوفة في التوصية ITU-R M.1372 تعمل على نحو ملائم. ولكن نفس التقنيات لا تعمل على تخفيف البث المستمر أو دورة التشغيل العالية التي تبدو شبيهة بالضوضاء داخل مستقبِل الرادار.

وبما أن معظم الرادارات البحرية العاملة في نطاق التردد 200 9-500 9 MHz متماثلة إلى حد بعيد من حيث التصميم والتشغيل، فمن غير المتوقع أن يكون هنالك اختلاف كبير عن معايير الحماية المشتقة من أجل الرادارات التي استُخدمت لهذه الاختبارات. ولذلك، فإن نتائج الاختبار هذه ينبغي أن تنطبق على رادارات مماثلة أخرى تعمل أيضاً في نطاق التردد 200 9-500 9 MHz.

وينبغي للسلطات التي ترغب القيام بدراسات تقاسم، بهدف احتمال التقاسم الممكن في النطاقات المعيّنة، أن تستخدم هذه النتائج على سبيل الاسترشاد، علماً بأن نتائج الاختبار المعروضة في الفقرتين 5.1 و6.1 وخصوصاً في الجدول 9 كانت على أساس أهداف غير متقلّبة. فإذا أُجريت اختبارات على أساس أهداف متقلّبة فالأرجح أن تُسفر عن نتائج مختلفة.

_____