الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R
قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M.1460-2
(2015/02)

الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير الحماية لرادارات الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيد

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

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار 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
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
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، 2016

© ITU 2016
جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلاّ بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R M.1460-2*

الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير الحماية لرادارات الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz

(2015-2006-2000)

مجال التطبيق

تتناول هذه التوصية الخصائص التقنية والتشغيلية ومعايير الحماية لرادارات الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz الموزعة إلى خدمة الاستدلال الراديوي على أساس أولي. وقد وُضعت بغرض دعم دراسات التقاسم بالاقتران مع التوصية ITU-R M.1461 التي تتناول إجراءات التحليل لتقرير التوافق بين الرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي وفي الخدمات الأخرى.

مصطلحات أساسية

رادار، محمول على متن السفن، منصوب على الأرض، خصائص، حماية.

المختصرات/مسرد المصطلحات

⟺	تقابُل (بين تردد الموجة الحاملة وزاوية الارتفاع) *(correspondence (between carrier frequency and elevation angle))*
AGC	تحكم أوتوماتي بالكسب *(automatic gain control)*
AIS	نظام تعرف الهوية الأوتوماتي *(automatic identification system)*
"Burn-thru"	أسلوب تتركز فيه القدرة في قطاع ضيق من زوايا الارتفاع لتسهيل كشف الأهداف في الظروف الصعبة *(a mode in which power is concentrated in a narrow elevation sector to facilitate detection of targets under difficult conditions)*
BW	عرض النطاق أو عرض الحزمة حسب السياق *(bandwidth or beamwidth, depending on context)*
CDMA	نفاذ متعدد بتقسيم الشفرة *(Code division multiple access)*
CFAR	معدل ثابت للإنذارات الكاذبة *(Constant-false alarm rate)*
"Chirp-thru"	نمط من أنماط الأسلوب "burn-thru" يستعمل فيه انضغاط النبضات من أجل تخفيف الإشارات المرتدة من جلبة الرادار *(a type of burn-thru mode in which pulse compression is used to reduce return from extended clutter)*
Coincident Video	ترابط من نبضة إلى أخرى *(pulse-to-pulse correlation)*
CSG	توليد ومضات نظيفة وهي تقنية تفيد في كشف الإشارات الواردة من مصادر نشيطة باستخدام الرادار كمستقبل فقط. ويمكن استعماله مع تطبيق أو عدم تطبيق إلغاء الفصوص الجانبية *(clean strobe generation. This is a technique for observing signals from active sources using the radar only as a receiver. It can be used with or without sidelobe blanking applied)*

* ينبغي أن تحاط المنظمة البحرية الدولية (IMO) ومنظمة الطيران المدني الدولي (ICAO) والرابطة الدولية للمساعدات البحرية لهيئات الملاحة والمنارات (IALA) واللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) علماً بهذه التوصية.

Dicke fix	تحديد صارم للإشارة المركبة المستقبَلة (الإشارة المرتدة للرادار مع التداخل) في عرض نطاق أكبر بكثير من عرض إشارة الرادار المطلوبة يتبعه الترشيح من أجل تنقيص عرض النطاق إلى عرض نطاق ضيق. ويستعمل هذا الجهاز للحد من التداخل العريض النطاق *(hard limiting of composite received signal (radar return plus interference) in a bandwidth substantially wider than that of the desired radar signal followed by filtering to a narrow bandwidth. This discriminates against wideband interference)*
ENG/OB	التجميع الإلكتروني للأخبار / الإذاعة الخارجية *(Electronic news gathering/outside broadcast)*
f_{co}	تردد قطع المرشاح *(cut-off frequency of filter)*
FTC	ثابت زمني سريع *(fast time constant)*
IF	تردد متوسط *(Intermediate frequency)*
IMO	المنظمة البحرية الدولية *(International Maritime Organization)*
INT	دمج نبضات متعددة غير متجانسة (فيديو) *(non-coherent (video) multiple-pulse integration)*
Jam strobe	مثل المختصر CSG *(similar to CSG)*
MTI	بيان هدف متحرك *(Moving-target indication)*
nm	أميال بحرية *(Nautical miles)*
PRI	فاصل تكرار النبضة *(Pulse-repetition interval)*
PRF	تردد تكرار النبضات *(Pulse-repetition frequency)*
PPI	نبضات في البوصة *(Pulses per inch)*
PSD	الكثافة الطيفية للقدرة *(Power spectral density)*
PW	عرض النبضة *(Pulse width)*
QPSK	إبراق تربيعي بزحزحة الطور *(Quadrature phase shift keying)*
RCS	مساحة المقطع العرضي العاكس للأشعة الكهرمغنطيسية للرادار *(Radar cross section)*
STC	التحكم الزمني في الحساسية *(Sensitivity time control)*
WPB	طمس النبضات العريضة *(Wide-pulse blanking)*

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 الترددات؛

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

ج) أن الخصائص التقنية والتشغيلية المميزة للرادارات العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي مطلوبة، إذا لزم الأمر، لتحديد إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة في نطاقات الترددات الموزعة إلى خدمة الاستدلال الراديوي،

وإذ تلاحظ

أ) أن الخصائص التقنية والتشغيلية للمنارات الراديوية البحرية العاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz ترد في التوصية ITU-R M.824؛

ب) أن الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الملاحة الراديوية للطيران في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz تماثل خصائص الرادارات العاملة في نطاق الترددات 700 2-900 2 MHz الواردة في التوصية ITU-R M.1464 ورادارات الأرصاد الجوية المنصوبة على الأرض الواردة في التوصية ITU-R M.1849؛

ج) أن بعض نتائج الاختبار التي تبيِّن قابلية تأثر الرادارات البحرية واردة في التقرير ITU-R M.2050. وأن مقتطفات من هذه المواد منشورة في الملحق 3،

وإذ تدرك

أ) أن خدمة الملاحة الراديوية هي خدمة سلامة كما هو مبيّن في الرقم 10.4 من لوائح الراديو؛

ب) أن معايير الحماية المطلوبة تتوقف على الأنماط المحددة من إشارات التداخل، كتلك الموصوفة في القسم 3 في الملحق 3؛

ج) أن تطبيق معايير الحماية قد يتطلب النظر في جدوى إدراج الطابع الإحصائي للمعايير وغير ذلك من عناصر المنهجية لإجراء دراسات التوافق (مثال ذلك مسح الهوائي وحركة المرسل وخسارة مسير الانتشار). وأن مزيداً من تطوير هذه الاعتبارات الإحصائية قد يُدرج في مراجعات مقبلة لهذه التوصية، حسب الاقتضاء،

توصي

1 بأن تُعتبر الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الاستدلال الراديوي الوارد وصفها في الملحق 1، خصائص مميزة للأنظمة العاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz؛

2 بأن تُستعمل هذه التوصية إلى جانب التوصية ITU-R M.1461 كمبادئ توجيهية لدراسة المواءمة بين رادارات الاستدلال الراديوي وأنظمة الخدمات الأخرى؛

3 بأن يُستعمل معيار نسبة قدرة الإشارة المسببة للتداخل إلى سوية قدرة الضوضاء الناجمة عن مستقبِل الرادار، أي نسبة *I/N* البالغة –6 dB، بمثابة سوية الحماية المطلوبة لأغراض رادارات الاستدلال الراديوي في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz، حتى في حال وجود عدة مصادر مسببة للتداخل. ثمة مزيد من المعلومات في الملحق 2؛

4 بأن تُستعمل نتائج تجارب قابلية التأثر بالتداخل على رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن والعاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz، والواردة في الملحق 3، في تقدير التداخل في رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن، علماً بأن النتائج تتناول أهدافاً غير متقلّبة وأن تقلبات المقطع العرضي للرادارات (RCS) ينبغي أن تُؤخذ في الحسبان. (انظر أيضاً التقرير ITU-R M.2050).

الملحق 1

الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الاستدلال الراديوي العاملة في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz

1 مقدمة

يعمل عدد كبير من الرادارات المنقولة والرادارات على متن السفن في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz. وتتناول الفقرات من 2 إلى 4 بالتفصيل الرادارات على متن السفن للتحديد الراديوي للموقع. وتناقش الفقرة 5 بإيجاز رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن.

2 الخصائص التقنية لرادارات التحديد الراديوي للموقع فيما عدا رادارات الأرصاد الجوية

يقدم الجدول 1 خصائص ستة رادارات نمطية للتحديد الراديوي للموقع محمولة على متن السفن والجدول 2 خصائص ثلاثة رادارات نمطية للتحديد الراديوي للموقع منصوبة على الأرض.

وجميع أنظمة التحديد الراديوي للموقع موضوع البحث هي رادارات مراقبة عالية القدرة. وتستعمل أساساً معظم رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في نطاق الترددات المذكور لكشف الأجسام المحمولة جواً. وتفيد في قياس ارتفاع الأهداف وبُعدها ومسارها. وبعض الأجسام المحمولة جواً صغيرة وبعضها الآخر يقع على مسافات تقارب 300 ميل بحري (545 km تقريباً)، وبالتالي ينبغي تزويد رادارات التحديد الراديوي للموقع هذه بحساسية شديدة وقدرة كبيرة على إلغاء كل أشكال أصداء جلبة الرادار، سواء كانت بحرية المنشأ أم برية أم جوية (الهواطل). ومن غير المطلوب أن تستثير إرسالات رادارات التحديد الراديوي للموقع في نطاق الترددات هذا منارات الرادارات.

ومن أجل الوفاء بهذه المتطلبات إلى حد بعيد، فإن رادارات التحديد الراديوي للموقع تتسم بالخصائص العامة التالية:

- تكون قدرتها الذروة والمتوسطة للإرسال عالية؛
- تُستعمل عادة مُرسلات بمذبذبات رئيسية مع مكبرات قدرة بدلاً من مذبذبات القدرة. وتكون عادة قابلة للضبط ويعمل بعضها بتردد خفيف الحركة، وتستعمل التشكيل FM – الخطي (chirp) أو التشكيل النبضي الداخلي بتشفير الطور. وتوفر تكنولوجيات أشباه الموصلات حلولاً غاية في الاستقرار في النطاق العريض؛
- يمكن أن تستعمل الرشاقة الترددية للتخفيف من بعض تأثيرات التداخل؛
- يُزود بعضها بحزم متعددة أو قابلة للتوجيه في الارتفاع بتوجيه إلكتروني للحزم. وتدمج المصفوفات النشطة الموجهة إلكترونياً مرسلات أشباه الموصلات الفردية في صفيف الهوائي وتستخدم عادة دورات تشغيل أعلى (من 5% إلى 25% عامة) لتحقيق مستويات القدرة المتوسطة المطلوبة مع مستويات قدرة قصوى أقل من التي يمكن تحقيقها باستخدام تكنولوجيات الصمامات المفرغة الهواء؛
- يحتوي بعضها على وظائف إدارة القدرة، وبعبارة أخرى تتمتع بقدرة على تخفيض قدرة المرسل في بعض الحزم أو لبعض الوظائف بينما تستخدم كامل القدرة للوظائف الأخرى؛
- تستعمل جميعها إمكانات استقبال ومعالجة مختلفة كهوائيات الاستقبال مع إلغاء الإشارات المستقبَلة من الفصوص الجانبية أو معالجة قطارات البتات بالموجة الحاملة المتجانسة لإلغاء جلبة الرادار المرتجعة بواسطة دلالة الهدف المتحرك (MTI) أو تقنيات ثبات معدل الإنذار الكاذب (CFAR) أو في بعض الحالات انتقاء ترددات التشغيل المتكيفة اعتماداً على تحسس التداخل في ترددات مختلفة.

يتمتع بعض أو جميع رادارات التحديد الراديوي للموقع ذات الخصائص المبينة في الجدولين 1 و2 بهذه الخصائص، مع أنها لا توضح كامل النعوت التي قد تظهر في أنظمة مقبلة.

الجدول 1

خصائص رادارات السفن للتحديد الراديوي للموقع في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3	رادار رقم 3A	رادار رقم 3B	رادار رقم 3C
مدى التوليف الكلي	MHz	3 100,5-2 910	القيمة الاسمية -100 3 2 900	3 100,5-2 910	3 100-2 900	3 100-2 900	3 100-2 900
خيارات التوليف والعلاقة تردد/ارتفاع	MHz	حتمي: تردد مرتفع ⟺ زاوية ارتفاع منخفضة				8 قنوات كل منها 20 MHz من 2 920 إلى 3 080 MHz	
التردد عند الأفق	MHz	بحر هادئ: -051 3 3 048	بحر هادئ: 055 3	بحر هادئ: 051 3	لا ينطبق	لا ينطبق	لا ينطبق
أساليب التغطية/الأداء		طويل المدى طويل المدى/محدود الارتفاع قصير المدى قصير المدى/محدود الارتفاع (حِزم/نبضات بالأسلوب العادي، معالجة فيديوية عن طريق الترابط أو بيان هدف متحرك (MTI)	عادي (≥ 45° بالارتفاع) 5° أسلوب "burn-thru" (1 حزمة ثابتة بزاوية 1,6°) أسلوب "chirp-thru" (حزمة واحدة مع شكل موجة مشكلة خطياً بالتردد) MTI طويل المدى، 3 نبضات 5° أو 45° MTI قصير المدى 4 نبضات؛ 5° أو 45° منفصل	طويل المدى (≥ 12,8° بالارتفاع) طويل المدى/قليل الارتفاع (≥ 4,8°) زاوية مرتفعة (≥ 41,6°) ارتفاع محدود (≥ 12,8°) معدل معطيات مرتفع (≥ 41,6°) MTI (≥ 36,9°)		مدى قصير حتى 45 km (24 nm) مدى طويل حتى 90 km (48 nm)	

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3	رادار رقم 3A	رادار رقم 3B	رادار رقم 3C
نمط الشكل الموجي للنبضة في المرسل		غير مشكل	عادي، 5°، MTI: 9 نبضات فرعية لترددات متدرجة (1,5 MHz بين النبضات الفرعية المجاورة) أسلوب "Burn-thru" غير مشكل أسلوب "Chirp-thru" FM خطي	غير مشكل	تشكيل تردد غير خطي	تشكيل تردد غير خطي	تشكيل تردد
أجهزة خرج RF في المرسل		Klystron	مكبّر بمجالات متصالبة (amplitron)	Klystron	أشباه موصلات	أشباه موصلات	أشباه موصلات
مِرشاح المرسل			تمرير عالي؛ $fco \leq$ 2 840 MHz				
القدرة الذروة القصوى للمرسل	kW	900-1 000 في الأفق عند 35°	2 200 في الأفق عند 5°	1 000-1 500 في الأفق عند 35°	200	170	4-90
قدرة الذروة للمرسل عند ارتفاعات أعلى و/أو بأسلوب مدى أقل	kW	تنخفض القدرة ببطء من 1 000تقريباً عند 35° إلى 300 عند 41,6°	600 عند 5,5°-21°؛ 60 فوق 21° وفي الأفق في معظم النبضات MTI	تنخفض القدرة ببطء من 1 000 تقريباً عند 35° إلى 300 عند 41,6°		ممكن خفض القدرة إلى 0,033	
عرض النبضة/النبضة الفرعية	µs	الوحدات الأولى: 4 و3 أو 2 الوحدات الأخيرة: 10 و4,6 و2,5	عادي، 5° وMTI: 27 (9 نبضات فرعية متلاحقة قدرها 3 µs) أسلوب "burn-thru" و"chirp-thru": 27	طويل المدى وطويل المدى/ منخفض الارتفاع: 10 زاوية ارتفاع عالية وارتفاع محدود: 4,6 معدل معطيات مرتفع وMTI: 2,5	من 0,1 إلى 1 000	0,1 و5 و33	من 0,1 إلى 100 مدة التشغيل < 20 %

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3	رادار رقم 3A	رادار رقم 3B	رادار رقم 3C
نسبة انضغاط النبضة		لا ينطبق	عادي وMTI و"burn-thru": لا يوجد بالأسلوب "chirp-thru": 9	لا ينطبق	حتى 20 000	100 و660	حتى 400
عرض نطاق المرسل عند 3 dB	MHz	عرض النبضة 10 µs: 0,1 تقريباً عرض النبضة 4,6 µs: 0,225 تقريباً عرض النبضة 2,5 µs: 0,7 تقريباً	عادي وMTI: 0,3/نبضة فرعية أسلوب "chirp-thru": 0,3 أسلوب "burn-thru": 0,034	عرض النبضة 10 µs: 0,1 تقريباً عرض النبضة 4,6 µs: 0,225 تقريباً عرض النبضة 2,5 µs: 0,7 تقريباً	25	15 للمدى القصير 20 للمدى الطويل	15 أو 3
عرض نطاق المرسل عند 20 dB	MHz		عادي وMTI: 2/نبضة فرعية الأسلوب "chirp-thru": 0,7 الأسلوب "burn-thru": 0,24			18 للمدى القصير 22 للمدى الطويل	
PRI[1]	µs	متغير يتراوح بين 050 2 و500 (050 2 عند الأفق) ثابت: 116 2	الأسلوب العادي: متغير بين 890 2 و732 (830 2 عند الأفق) أسلوب "Burn-thru"، أسلوب "Chirp-thru" وارتفاع منخفض: ثابت: 830 2 أو 850 4 أو 180 6	متغير يتراوح بين 106 3 و426 (106 3 عند الأفق)	متغير: 000 3-100	12 للمدى القصير 64 للمدى المتوسط 365 للمدى الطويل	000 2-100
متوسط PRI لنبضات القدرة الكاملة المحتوية على حزم عند مستوى الأفق	µs		الأسلوب العادي: 120 5 الأسلوب 5°: 977 4 MTI لثلاث نبضات طويلة المدى: 5°: 357 4، 45°: 760 6 MTI لأربع نبضات قصيرة المدى: 5°: 534 10، 45°: 695 19 (1 أو 2 نبضة فرعية/نبضات تصل إلى الأفق)	مدى طويل: 491 7 مدى طويل/ارتفاع منخفض: 190 6 زاوية مرتفعة: 972 10 ارتفاع محدود: 383 7 معدل معطيات مرتفع: 020 14 MTI: 886 9 أو 903 10 (على عمليات مسح سمتي متناوبة)		لا ينطبق	لا ينطبق
استقطاب		أفقي					رأسي

الجدول 1 *(تابع)*

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3	رادار رقم 3A	رادار رقم 3B	رادار رقم 3C
كسب الهوائي	dBi	الوحدات الأولى: 33,5 الوحدات الأخيرة: 37	38,5	37	40	27,5	حتى 40
فتحة حزمة الهوائي	بالدرجات	السمت: 1,9 الارتفاع: 2,25	السمت: 1,5 الارتفاع: 1,6	السمت: 1,9 الارتفاع: 2,25	السمت: 1,1 إلى 5,0	2 في السمت 26,5 في الإرتفاع	السمت: 1,5 إلى 6 الارتفاع: 4 إلى 20
تخالف التردد لتغير ارتفاع قدره BW 1/2		2,25 MHz (0,5° لكل MHz)	4,1 MHz (0,39° لكل MHz)	2,25 MHz (0,5° لكل MHz)		لا ينطبق	لا ينطبق
إلغاء الفصوص الجانبية الأولى	dB	الوحدات الأولى: السمت: 16 الارتفاع: 20 الوحدات الأخيرة: السمت: 25 الارتفاع: 25	السمت: 25 الارتفاع: 15	السمت: 25 الارتفاع: 25		28 dB على الأقل من الذروة	
إلغاء الفصوص الجانبية البعيدة		غالباً ما يكون محدوداً من جراء تناثر البُنى				28 dB على الأقل من الذروة	
نمط المسح في اتجاه سمت الهوائي	بالدرجات	360° مستمر				لا ينطبق	360° مستمر
الفاصل الزمني بين مقطعي هوائي متتاليين بنفس الاتجاه	ثانية	الوحدات الأولى: أسلوب عادي: 4 أسلوب MTI: 5,2 أسلوب معالجة فيديوي ترابطي: 12,5 الوحدات الأخيرة: 8 و6 و4	4 و8	8 و6 و4	من 1 إلى 12	5 أو 2,5	
المسح في اتجاه ارتفاع الهوائي	بالدرجات	الوحدات الأولى: 0-48 الوحدات الأخيرة: 0,3-41,6	0-45	0,3-41,6	0-90	لا ينطبق	لا ينطبق
تشكيل حزم ارتفاع منفصلة		استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة	استقبال متآون عبر 9 قنوات متوازية مع تغير تتابعي من نبضة إلى أخرى	استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة		لا ينطبق	حزم استقبال متآون (تشكيل رقمي للحزم)
عرض النطاق RF للمستقبل[2]	MHz	200 (قيمة مقدرة)	≤ 200	200 MHz	400	200	≤ 200

الجدول 1 *(تتمة)*

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3	رادار رقم 3A	رادار رقم 3B	رادار رقم 3C
عرض النطاق IF للمستقبل[2]	MHz	0,5	0,35 للقناة الواحدة 12 لمجموع القنوات	مدى طويل: 0,08 زاوية مرتفعة: 0,174 معدل معطيات مرتفع وMTI: 0,348	30-10	15 و0,3 و0,045	15 أو 3
كسب المعالجة نسبة إلى الضوضاء	dB		الأسلوب "Chirp": 9			0	
حساسية الإشارة المطلوبة أو سوية الضوضاء (عند منفذ الهوائي)	dBm	سوية الضوضاء: –109				125–	
وظائف إلغاء التداخل		معالجة فيديوية ترابطية MTI الوحدات الأخيرة: إلغاء الفصوص الجانبية	STC FTC AGC INT CSG WPB إلغاء الفصوص الجانبية إلغاء حزمة واحدة ارتباط بين النبضات تقليم الضوضاء "Dicke fix")	إلغاء الفصوص الجانبية فيديو لوغاريتمي مستقبل "Dicke Fix" ستروبوسكوب كاشف للتداخل (Jam strobe)[3]		STC CFAR	CFAR
سنوات التشغيل		1960 -... (استبدلت بالرادارين رقم 2 ورقم 3)	1965 إلى اليوم	1966 إلى اليوم	2000 إلى اليوم	2007 إلى اليوم	2012 إلى اليوم

(1) في معظم أساليب الرادارات رقم 1 و2 و3 يتناقص الفاصل الزمني بين النبضات والقدرة الذروة عند مسح الحزمة باتجاه الأعلى.

(2) توجد سويّتا التشبُّع في المرسل RF وIF عند منفذ الهوائي.

(3) يعرض الستروبوسكوب، كاشف التشويش، خطاً شعاعياً مرئياً يُظهر اتجاه مصادر بعض أشكال التداخل.

الجدول 2

خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع المنصوبة على الأرض العاملة في نطاق الترددات 2 900-3 100 MHz

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
مدى التوليف الكلي	MHz	2 905-3 080	2 901,5-3 098,4	2 900-3 100
خيارات التوليف وعلاقة التردد بالارتفاع		حتمي تردد منخفض ⟺ زاوية ارتفاع منخفضة 0,1°-0,15° / MHz	أ) تردد ثابت ب) رشاقة ترددية من نبضة إلى نبضة (≥ 16 تردد): – تحددها البيئة – عشوائية ج) MTI (رشقات من 12 نبضة): رشاقة ترددية تحددها البيئة أو عشوائية	أ) تردد ثابت ب) رشاقة ترددية من نبضة إلى نبضة (16 تردد من 4 فئات لكل منها): – تحددها البيئة – عشوائية ج) MTI (رشقات من 4 نبضات): رشاقة ترددية تحددها البيئة أو عشوائية
التردد عند الأفق	MHz	2 924-2 935	مستقل عن زاوية الارتفاع	
أساليب التغطية/الأداء		عادي (0°-18°) نبضة مشفرة (انضغاط النبضات عند 0°-2,24°، عادي فوق 2,24°) MTI (≥ 18°) "Burn-thru" (حزمة بارتفاع 0,8° انتقائية)	انضغاط النبضات (0°-20°) MTI مع انضغاط النبضات (0°-20°)	المدى الاسمي 240 ميل بحري (436 km تقريباً) انضغاط النبضات (0°-20°) MTI مع انضغاط النبضات (0°-20°)
نمط الشكل الموجي للنبضة في المرسل		عادي وMTI: نبضات فرعية بتردد متدرج (مسح التردد/الارتفاع داخل النبضة) نبضات القدرة المرتفعة بزاوية ارتفاع منخفضة 6 نبضات فرعية؛ وللنبضات بزاوية ارتفاع عالية ونبضات MTI بقدرة منخفضة 9 نبضات فرعية. ولنمطي النبضات فاصل قدره 2,8 MHz بين النبضات الفرعية المجاورة. النبضة المشفرة: 3 نبضات فرعية قدر كل منها 9,9 µs ومؤلفة من 13 رقاقة مشفرة "Burn-thru": غير مشكل	تشفير ثنائي الطور (باركر 13)	

الجدول 2 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
أجهزة خرج RF للمرسل		مكبر متقاطع المجالات	Twystron	
مرشاح المرسل		تمرير عالٍ		لا يوجد التوافقية الثانية ملغاة عند 60 dB التوافقية الثالثة ملغاة عند 50 dB
أقصى قدرة ذروة للمرسل	MW	2,2 لزاوية ارتفاع محصورة بين 0° و7,2° باستثناء 0,06 في الحزم MTI في زاوية ارتفاع محصورة بين 0° و3°	2,8	3,0
قدرات الذروة للمرسل في زوايا ارتفاع عالية و/أو أمدية منقصة	kW	665 لزاوية ارتفاع محصورة بين 7,2° و12,6° 60 لزاوية ارتفاع قدرها 12,6°	قدرة المرسل موزعة على عدة حزم بطريقة تشكل فيها تقريباً مخططاً من النمط cosec2	قدرة المرسل موزعة على عدة حزم مع زاوية ارتفاع محصورة بين 0° و20°
عرض النبضة/النبضة الفرعية للمرسل	µs	عادي: 6 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة 5 لزاوية ارتفاع منخفضة وقدرة عالية؛ 9 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة 3 لزاوية ارتفاع عالية MTI: 9 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة منها 3,3 نبضة مشفرة: 3 نبضات متلاصقة قدر الواحدة منها 9,9، ومؤلفة من 13 نبضة فرعية (رقاقات تبلغ الواحدة منها 0,76)	6,5	نبضة مشفرة قدرها 6,5
نسبة انضغاط النبضة		نبضة مشفرة: 13	13	
عرض نطاق المرسل عند 3 dB	MHz	عادي وMTI: 0,35 لكل نبضة فرعية نبضة مشفرة: 1,3 للحزم مع انضغاط النبضة	تقريباً	1,4
عرض نطاق المرسل عند 20 dB			MHz 9,5	MHz 2,7 (MHz 5,9 عند 40 dB و40 MHz عند 60 dB)

الجدول 2 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
PRI[1]	µs	متغير بين 772 3 عند الأفق و090 1 عند 18° باستثناء 090 1 للأسلوب MTI	ثابت: 082 4 أو 000 4 أو 873 3 متخالف بطريقة حتمية: 597 3 ← 788 3 ← 255 4 ← 405 4 ← 876 3 ← 082 4 تكرار	الترددات PRF الثابتة تضم 245 و250 و258 نبضة/ثانية (4,082 أو 4,0 أو 3,876 ms) تتابع الفاصل المتغير من نبضة إلى نبضة هو عادة 4,08 ← 3,59 ← 3,79 ← 4,25 ← 4,40 ← 3,87 ms ← تكرار ويمكن أيضاً استعمال مخططين آخرين لتغير الفاصل بين النبضات
متوسط PRI لنبضات القدرة الكاملة المحتوية على حزم أفقية		عادي: 670 9 µs تقريباً (1 أو 2 نبضة فرعية/نبضة تصل إلى الأفق)	جميع النبضات تغطي 0°-20°	272,5 نبضة/ثانية
الاستقطاب		أفقي	رأسي	أفقي
كسب الهوائي	dBi	41	المرسل: 34,5 المستقبل: 38 (قدرة المرسل موزع على 13 حزمة؛ أما قدرات العودة فموزعة على 6 قنوات Rx فقط)	المرسل: 35 (تقسم طاقة المرسل بين 0,5° و20°) المستقبل: 36,7 و35,7 و35,3 و35,5 و32,1 و31,9 من الحزمة السفلية من الحزمة العالية
فتحة حزمة الهوائي	بالدرجات	السمت: 2,15 الارتفاع: 0,84	السمت: 1,1 الارتفاع: 20 من النمط cosec2	السمت: 1,6 الارتفاع: 20 للإرسال و2,3-6,0 للاستقبال
تخالف التردد بالنسبة إلى تغير ارتفاع قدره BW 1/2				غير مرتبط بالتردد
إلغاء الفصوص الجانبية الأولى	dB	السمت: 25 الارتفاع: 25	18,5 (مفترض بالسمت)	المرسل: 20 في المستوي الرأسي المستقبل: 35 على الأقل بالسمت؛ 49 على الأقل بالارتفاع
إلغاء الفصوص الجانبية البعيدة				"الفصوص الجانبية الشديدة – الانخفاض"
نمط في اتجاه السمت للهوائي	بالدرجات	360° مستمر		
الفاصل الزمني بين تكرار مرور الهوائي في نفس الاتجاه	ثانية	10		9,4 (6,4 rpm)
المسح في اتجاه الارتفاع للهوائي	بالدرجات	بين –1 و18	لا يوجد مسح تغطي حزمة المرسل زاوية ارتفاع تقع بين 0 و20	

الجدول 2 *(تتمة)*

الخصائص	الوحدات	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
تشكيل حزم ارتفاع منفصلة		استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة	حزمة الإرسال البالغة 20° مقسومة على 6 حزم عند الاستقبال وتعالج بالتآون في 6 قنوات متوازية	6 حزم مكدسة عند الاستقبال تعالج بالتآون في 6 قنوات متوازية
عرض النطاق RF للمستقبل	MHz	200	> 200 (باستعمال خلاط بتوهين تردد الصورة في كل قناة)	
سويات التشبع RF وIF للمستقبل عند منفذ الهوائي			dBm 35–	مدى دينامي: 90 dB باستعمال يصل إلى 46,5 dB من الكسب STC
عرض النطاق IF للمستقبِل	MHz	عادي وMTI: 0,35 نبضة مشفرة: 1,3	1,6	1,1 عند 3 dB 3,4 عند 20 dB 12,1 عند 60 dB
كسب المعالجة نسبة إلى الضوضاء	dB	عادي/غير MTI: 3 (تكامل فيديو نبضتان) النبضة المشفرة: 11	10 (انضغاط النبضة) + 9 (تكامل النبضة) = 19	11 (انضغاط النبضة) استعمال MTI مع 4 نبضات
حساسية الإشارة المطلوبة أو سوية الضوضاء (عند منفذ الهوائي)	dBm	أسلوب عادي: سوية الضوضاء: –116 النبضة المشفرة: سوية الضوضاء: –110	105–	
وظائف إلغاء التداخل		تكامل فيديوي، نبضتان خوارزمية التقطيع FTC أسلوب النبضة المشفرة (انضغاط النبض) الترابط النبضي كاشف الأهداف الثابتة	خفة في حركة التردد انضغاط النبضات؛ إلغاء الفصوص الجانبية PRI متخالف مع تكامل بعد الكشف CFAR مع تقييد شديد (دون MTI) أو STC (مع MTI) قناة مراقبة الإشارة الخام	فصوص جانبية منخفضة جداً في هوائي المستقبِل الأخرى مماثلة للرادار رقم 5
سنة التشغيل		1975 إلى اليوم	1975 إلى اليوم	نهاية الثمانينات إلى اليوم

(1) في معظم أساليب الرادار رقم 4 يتناقص الفاصل الزمني بين النبضات وقدرة الذروة عندما يكون مسح الحزمة باتجاه الأعلى.

تقابل جميع قيم الزوايا المعبَّر عنها بالدرجات والواردة في الجدولين 1 و2 زوايا الارتفاع، ما لم يحدد خلاف ذلك.

1.2 الخصائص النوعية

للرادارات 1 و2 و3 و4 مسح ميكانيكي في السمت ومسح ترددي في الارتفاع. ويمارس الراداران رقم 2 ورقم 4 منها عادة مسحاً تدريجياً في الارتفاع داخل كل نبضة مع العلم أن النبضة غالباً ما تكون مقسمة إلى عدد قد يصل إلى 9 نبضات فرعية متلاصقة مع خطوات موجات حاملة للتردد بين كل النبضات الفرعية. يشتمل الراداران رقم 2 ورقم 4 أيضاً على 9 قنوات مستقبِلة/معالجة متوازية (إضافة إلى قناة إلغاء الفصوص الجانبية) وتعالج كل قناة في المستقبِل الأصداء الصادرة عن بعض حزم الارتفاع الخاصة المقابلة لنبضة فرعية مختلفة داخل نفس الفاصل الزمني بين النبضات. وهكذا يغطي هذان الراداران حوالي 5° (الرادار رقم 2) أو حوالي 3° (الرادار رقم 4) في الارتفاع ضمن فاصل زمني واحد بين النبضات أو خلال فترة دوران الرادار دورة كاملة مع استبانة قدرها 1,6° تقريباً (للرادار رقم 2) أو 0,84° (للرادار رقم 4). ويرصد هذان الراداران قطاعات ارتفاع مختلفة بمقدار 5° (الرادار رقم 2) أو 3° (الرادار رقم 4) أثناء فترات مختلفة بين النبضات.

ويرسل الراداران رقم 1 ورقم 3 في نفس الحزمة وفي كل نبضة من النبضات ويضمّان قناة واحدة للمستقبِل (إضافة إلى قناة إلغاء الفصوص الجانبية). ويغطيان قطاعاً في الارتفاع مختلفاً في كل فاصل زمني بين النبضات.

إن المدى الاسمي المطلوب الذي يحدد الفاصل الزمني بين النبضات كبير عادة بالنسبة إلى زوايا ارتفاع صغيرة ولكنه صغير بالنسبة إلى زوايا الارتفاع الأكثر علواً لأن المِديات الكبيرة في هذه الحالة تقابل ارتفاعات فوق الجو. ويمكن تخفيض قدرة الذروة للمرسل في زوايا الارتفاع الأكثر علواً لأن المديات القصيرة تتطلب قدرة متوسطة أقل من أجل كشف الأهداف ولأن النسبة الدورية للإرسال تزداد بسبب الفواصل الزمنية الأقصر بين النبضات. وفيما يخص الرادار رقم 2، يتم تخفيض قدرة الذروة في المرسل عن طريق قطع التيار عن أجهزة مكبرات القدرة الأخيرة والمتوسطة مما يتيح تخفيض صدمات التوتر العالي والحصول على أطياف إرسال أنظف. وفيما يتعلق بالرادارين 1 و3 تبقى قدرة المرسل عالية في زوايا الارتفاع التي تصل إلى 35° تقريباً وتتناقص في الزوايا الأكثر ارتفاعاً، وهي نتيجة طبيعية لخاصيّة نسبة الكسب/التردد في جهاز مكبر القدرة.

تتابعات النبضات/التردد للرادارين رقم 2 ورقم 4 مختلفة جداً ومعقدة. فعلى سبيل المثال في الأسلوب العادي للرادار 2 يضم كل مسح كامل في الارتفاع 18 نبضة تشتمل كل منها على 9 نبضات فرعية متدرجة التردد. ويختلف التردد الأساسي لكلٍ من النبضات الثمانية عشرة عن الأخرى من أجل أن تسهم في عملية المسح في الارتفاع باستثناء ثلاث نبضات يشبه تردُّدها تردد النبضات الثلاث الأخرى. وعند استعمال الأساليب MTI في زاوية قدرها 5°، تشع مجموعات من 3 أو 4 نبضات متماثلة تفصل بينها فواصل نبضية بينية ثابتة عند زوايا ارتفاع قد تصل إلى 5° وتندرج بين 15 نبضة (غير MTI) لا دورية مشعة في جميع زوايا الارتفاع تحت 45° لكل مسح ارتفاع كامل. وفي معظم الأساليب تتراكب الحزم المصاحبة للنبضات الفرعية في كل نبضة مع حزم الارتفاع المجاورة. وتتراكب أيضاً الحزم المصاحبة للنبضات الفرعية المكونة للنبضات 18 أو أكثر التي تشكل مسح الارتفاع في السّمت لأن بنية الهوائي تدور حسب زاوية أقل من زاوية فتحة الحزمة في السمت (1,5°) خلال طَوري الإرسال والاستقبال في جميع الحزم. كما أن الجلبة الصادرة عن الهدف الناجم عن أي نبضة فرعية والجلبة الناجمة عن نبضات فرعية أخرى تتراكبان بنفس الوقت في زاويتي السمت والارتفاع. وتساهم الترابطات بين حزمة وحزمة وبين نبضة ونبضة المُستعمَلة لأغراض الجلبات المتراكبة في تخفيض معدل الإنذار الخاطئ بدلالة الضوضاء ويعرّف جلبات الأهداف الصحيحة في تداخل النبضات اللاتزامنية.

تشير الجداول إلى القيم المحسوبة للفواصل الزمنية المتوسطة بين النبضات الكاملة التي ترسلها الرادارات رقم 2 و3 و4 التي تشع في الأفق (الرادار رقم 3) أو التي تضم نبضة فرعية واحدة على الأقل في المستوى الأفقي (الراداران 2 و4) لمدة قدرها 3 أو 3,3 µs. وتراعي الحسابات أن العمليات MTI قصيرة المدى تتداخل في بعض الأساليب مع العمليات غير MTI طويلة المدى. وهناك عند أي تردد أساسي، نبضة فرعية واحدة قادرة على التواجد في نطاق مرور أنظمة أخرى، مع العلم بأن التردد موزع بين النبضات الفرعية، وفي جميع الأحوال من المرجح أن تنتج نبضتان فرعيتان متلاصقتان نفس الأثر تقريباً الذي قد تنتجه نبضة فرعية واحدة على مستقبِل آخر.

لا يمسح الراداران رقم 5 ورقم 6 بالتردد، غير أنهما مؤلفان من عدة حزم استقبال متآونة لها 6 قنوات استقبال متوازية (متآونة) تغطي كل منها منطقة مستقلة بالارتفاع. وبما أنهما لا يمسحان بالترددات فإنهما قادران على مراقبة أي منطقة من الفضاء بأي تردد من الترددات العديدة الموزعة على مختلف أنحاء مدى تشغيل ترددا تها البالغة MHz 200 بواسطة خفة حركة التردد. وفي الأساليب غير MTI تستطيع الحزم أن تنتقل من تردد إلى آخر بعد كل 12 نبضة (في حالة الرادار رقم 5) أو بعد كل 4 نبضات (في حالة الرادار رقم 6). ولتوفير هذه المقدرة دُمجت دالّة التحكم التي تتيح للحزم (عن طريق الاستعيان) قياس انشغال الإشارة في البيئة في كل تردد تمر به وتسجيل هذه العملية في الذاكرة. وتتيح الخوارزمية التي تصل إلى هذه الذاكرة أن تختار حزم الترددات القليلة الاستعمال من أجل إرسالات لاحقة.

إن الشكل النوعي للموجة بانضغاط النبضات الذي يستعمله الرادار رقم 4 لم يمكن تحديده بالضبط. وعلماً بأن نسبة الانضغاط كانت محددة وقدرها 13 والموجة مشفرة، يمكن افتراض أن الموجة تستعمل شفرة بارکر ثنائية الطور. ولا يوجد إلا شفرة واحدة من هذا النمط طولها 13.

ووظيفة كشف الأهداف الثابتة أو إلغائها الموجودة في الرادار رقم 4 والمعروفة أيضاً باسم "clutter map" (خريطة الجلبة) هي خوارزمية ما بعد المعالجة تحسب عدد عمليات الكشف التي تحث داخل كل من الخلايا العديدة في السمت/المدى/الارتفاع في الأوقات الأخيرة. ويضاف هذا الحساب عند كل كشف؛ وينقص حسب قواعد منتقاة بطريقة مستصوبة، عند المرور فوق نفس هذه الخلية من جديد ولكن دون إجراء أي كشف. وإذا زاد عدد عمليات الكشف عن بعض قيم العتبة فلا يعلن عن الأهداف المقابلة للمشغل أو تستعمل لأغراض أخرى، إذ إن الأهداف المكشوفة قد تكون ناجمة في هذه الحالة عن جلبات مستقرة.

وبسبب تعدد أساليب التشغيل يصعب تحديد سوية حساسية كشف هذه الرادارات كماً بدقة ودون لبس. وقد يمكن تقدير حساسية الكشف بواسطة بعض الحسابات واستناداً إلى قيمة الضوضاء. وتقدّر هذه القيمة الأخيرة بحوالي 4 أو 5 dB في الرادارات الحالية وهي أعلى بكثير في الرادارات القديمة مثل رادارات النمط 1. وفيما يخص الرادار رقم 6، فقيمة حساسية كشفه مذكورة في الجدول.

تبث المرسلات الرادارية التي تستعمل أجهزة المجالات المتقاطعة مثل أجهزة الراداريين رقم 2 ورقم 4، ضوضاء عريضة النطاق بسويات مرتفعة نسبياً أعلى بكثير مما هي عليه عند استعمال مذبذبات المجالات المتقاطعة (مغنيطرون). ولا يدخل التحديد الكمي لهذه السويات ضمن إطار هذه التوصية.

2.2 خصائص ذات أهمية خاصة

إن التفاعلات التي تستخدم إرسالات رادارية للتحديد الراديوي للموقع واستقبالات رادارية للملاحة الراديوية تثير اهتماماً أكبر من غيرها من التفاعلات. وذلك لأن رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في نطاق الترددات هذا تتمتع عموماً بقدر كبير من وسائل إلغاء التداخل من النمط الذي تسببه رادارات الملاحة البحرية. ولقد جرى تحديد أن الترددات الحاملة لرادارات الملاحة البحرية العاملة في نطاق الترددات هذا تتمركز بشكل كامل منذ عشرات السنوات تقريباً بين 020 3 و080 3 MHz. وجدير بالذكر أن الحزم الأفقية لرادارات التحديد الراديوي للموقع رقم 1 ورقم 2 ورقم 3 التي عملت أيضاً في وسط بحري، تبث حصرياً تقريباً في حدود هذه المنطقة الطيفية. وهذه الرادارات الثلاثة للتحديد الراديوي للموقع استعملت جميعها هوائيات توجيه زوايا الارتفاع بالتردد. وبما أن هذه الرادارات مركبة على سفن فعليها أن تعوض عن التغيرات في ارتفاع السفينة (التمايل والاهتزاز) بتغيرات مناسبة في التردد. وهكذا، يتغير التردد الدقيق الذي تعمل على أساسه الحزمة الأفقية لبعض الوقت عندما تميل السفينة أو تهتز وعندما يقوم هوائي الرادار بدوران ميكانيكي لكي يجري مسحاً في السمت. لكن المركز المتوسط لتوزيع الترددات الذي يقابل الحزمة في الأفق قريب جداً من التردد 050 3 MHz، وهو تردد يقابل أيضاً المركز المتوسط لتوزيع ترددات رادارات الملاحة. ولذا فإن حزم الأفق لرادارات السفينة الواردة في الجدول 1 متمركزة داخل ترددات رادارات الملاحة أو بجوارها.

وجدير بالذكر أن هذه الرادارات الثلاثة للتحديد الراديوي للموقع في السفينة استعملت استقطاباً أفقياً وهو الاستقطاب الأكثر استعمالاً في رادارات الملاحة خلال الفقرة الأخيرة.

كما يجدر بالذكر أيضاً أن رادارات التحديد الراديوي للموقع أرقام 1 و2 و3 و4 أرسلت بشكل طبيعي بعضاً من نبضاتها إلى قدرتها الذروة القصوى عندما تواجدت حزمتها في الأفق كما هو مبين في الجدولين 1 و2.

ولقد كان هناك اتجاه سائد خلال العقود الأخيرة نحو الزيادة إلى أقصى حد ممكن من إمكانيات اقتران التداخلات الناجمة عن رادارات التحديد الراديوي للموقع في السفن والتي عُرّفت في هذه الوثيقة بأنها رادارات ملاحة بحرية من النمط التقليدي. وبما أنه تم التمكن من ملاحظة التداخل الذي تسببه رادارات التحديد الراديوي للموقع في رادارات الملاحة الراديوية خلال العقود الأخيرة فإنه ينبغي تقدير أهميته في هذا السياق.

ويكمن الاختلاف الرئيسي الموجود بين الرادار رقم 6 والرادار رقم 5 في نمط الهوائي المستعمل: فهو هوائي شبكة عناصر مستوية بفصوص جانبية شديدة الانخفاض للرادار رقم 6 وهوائي ذو عاكس للرادار رقم 5. وقد يعود الأداء الجيد للفصوص الجانبية شديدة الانخفاض إلى أن حزم استقبال الهوائي بالرغم من عددها الكبير، لا يتم توجيهها إلكترونياً. وإثارة هوائي الشبكة ليست بالتالي متأثرة بتكمية مزحزحات الطور ولا بالانحطاط الذي ينتج عند توجيه الحزم في اتجاه بعيد جداً من وجهة تسديد هندسية أو عادية للهوائي.

3 خصائص تشغيل أنظمة التحديد الراديوي للموقع فيما عدا أنظمة الأرصاد الجوية

إن رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في نطاق الترددات المذكور أقل عدداً بكثير من رادارات الملاحة البحرية. وجميع السفن التي يتجاوز وزنها 000 3 طن تقريباً مزودة برادارات ملاحة تعمل في نطاق الترددات هذا.

ويبدو أن رادارات التحديد الراديوي للموقع على متن السفن الواردة هنا تعمل خلال نسبة مئوية عالية من الوقت خلال إبحار هذه السفن. ويعرف أن الأساليب الأكثر استعمالاً هي تلك التي تتيح القيام ببحوث متعددة (زاوية كبيرة). وبالتالي يستعمل الراداران 2 و4 بالطبع الأسلوب العادي بينما يستعمل الرادار 3 أسلوب الزاوية الكبيرة كأسلوب أولي. أما الأساليب التي تغطي زوايا ارتفاع محدودة مثل الأسلوبين "burn-through" و"chirp-through" فمحجوزة عادة للظروف الخاصة وللقطاعات في زاوية سمت ضيقة حصراً بينما تبقى التغطية الكاملة لزوايا الارتفاع في قطاعات السمت المتبقية. وقد ينبغي استعمال الأساليب MTS فقط في الظروف التي تتطلب ذلك مثل أعالي البحار وقرب الكتل الأرضية.

ويفترض أن تعمل رادارات التحديد الراديوي للموقع على الأرض خلال نسبة مئوية ضئيلة من الوقت ما عدا إذا كانت مستعملة في بعض المناطق الثابتة أو لأغراض الملاحة. ويعمل الرادار 5 بشكل عادي بترددات ثابتة باستثناء حالات خاصة.

4 أنظمة التحديد الراديوي للموقع المستقبَلية فيما عدا أنظمة الأرصاد الجوية

من المحتمل أن تكون الرادارات القادمة للتحديد الراديوي للموقع القادرة على العمل في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz مشابهة في خطوطها العريضة للرادارات الموصوفة هنا.

فهي ستكون على الأرجح مساوية على الأقل في المرونة وقادرة على أن تعمل في قطاعات مختلفة في السمت وفي الارتفاع.

ومن المعقول افتراض حدوث تطورات تسمح للنماذج القادمة بالعمل في نطاق أعرض يتجاوز 100 3 MHz.

ويرجح أن تزود الرادارات المستقبلية كما هو الحال بالنسبة إلى الرادارات الحالية أرقام من 1 إلى 4 بمصفوفات توجه إلكترونياً. غير أن التسديد بدلالة الطور وهو تقنية من التقنيات الحالية يشكل بديلاً عملياً وهاماً للتسديد بدلالة التردد والكثير من رادارات التحديد الراديوي للموقع المصمَّمة في السنوات الأخيرة للعمل في نطاقات ترددات أخرى استعمل التسديد بدلالة الطور في السمت والارتفاع. وبعكس رادارات التسديد بدلالة التردد قد تستطيع رادارات التسديد بدلالة الطور تسديد حِزمها بمعزل عن التردد. ومن جملة محاسن هذه التقنية أنها تتيح ضمان المواءمة بشكل أفضل في حالات متفرقة.

ويُتوقع أن يكون بعض رادارات التحديد الراديوي للموقع المستقبلية قدرة متوسطة بنفس ارتفاع قدرة الرادارات الموصوفة هنا كحد أدنى. غير أنه بفضل التطور التقني يمكن افتراض أن الرادارات المستقبلية التي تعمل في نطاق الترددات المذكور ستنتج إرسالات ضوضاء عريضة النطاق أقل من تلك التي ترسلها الرادارات الحالية التي تستعمل أجهزة بأنبوب مفرغ متقاطعة المجالات. وستنخفض الضوضاء عريضة النطاق بفضل أنظمة المرسل/الهوائي بأشباه الموصلات التي ستزود بها بعض الرادارات في المستقبل. وفي هذه الحالة سيكون عامل استعمال هذه المرسلات أعلى من عامل المرسلات الرادارية بالأنبوب العادي وستكون النبضات أطول.

5 الخصائص التقنية والتشغيلية لأنظمة الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن والعاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz[1]

يتناول الجدولان 3 و4 خصائص مجمل رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن.

وترد خصائص منارات الملاحة الراديوية البحرية التي يعمل بعضها في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz في التوصية ITU-R M.824.

يتناول الجدول 3 قدرة المرسل وأعداد الرادارات المحمولة على متن السفن من النمط المعرّف لدى المنظمة البحرية الدولية (IMO).

الجدول 3

رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن

فئة الرادار	القدرة الذروة (kW)	المجموع الإجمالي
المنظمة IMO وصيد الأسماك	≥ 75	< 300 000

خصائص الرادار التي تؤثر على كفاءة استعمال الطيف، بما فيها معايير الحماية، هي تلك المرتبطة بهوائي الرادار والمرسِل/المستقبِل فيه. ومعظم الرادارات من نمط المنظمة IMO تستخدم صفيف هوائيات بفواصل.

ويورد الجدول 4 بإيجاز الخصائص التقنية لرادارات فئة المنظمة IMO. ويحدد مدى كل من الخصائص في شكل قيمة قصوى وقيمة دنيا.

الجدول 4

رادارات الملاحة الراديوية البحرية (فئة المنظمة IMO – بما فيها صيد الأسماك)
المرسل/المستقبل – الخصائص النمطية

الخصائص	الوحدات	MHz 3 100-2 900	
		الحد الأقصى	الحد الأدنى
هوائي (إرسال/استقبال):			
		صفيف من أدلة موجية مشقوقة	
ارتفاع الهوائي		m 50-10 عادة حسب تركيبة السفينة	
نمط مخطط الهوائي		حزمة مروحية	
استقطاب الهوائي		أفقي	
عرض الحزمة (حتى –3 dB)	بالدرجات		
أفقياً		4,0	1,0
رأسياً		30,0	24,0
توهين الفص الجانبي	dB		
ضمن ± 10º		28	23
خارج ± 10º		32	31
الكسب	dB	28	26
معدل الدوران	دورة في الدقيقة	60	20

[1] خصائص الرادارات المدنية الثابتة البحرية المستخدمة في خدمات حركة المراكب (VTS) مثلاً غير واردة هنا لأنها تعتمد على الموقع والوظيفة، أي مراقبة حركة السفن في السواحل والموانئ.

الخصائص	الوحدات	MHz 3 100-2 900	
		الحد الأقصى	الحد الأدنى
المرسل:			
جهاز خرج		مغنيطرون	
التشكيل		نبضي	
دورة التشغيل القصوى		$7,5\times10^{-4}$	
زمن صعود/هبوط النبضة		0,015/0,067	
القدرة الذروة	kW	75	30
التردد	MHz	3 080	3 020
مدة النبضة	µs	1,2	0,05
تردد تكرار النبضة	Hz	4 000	375
عرض نطاق بث التردد الراديوي dB 3– dB 20–	MHz	من أجل أقصر نبضة 8 43	
المستقبِل:			
التردد الوسيط (IF)	MHz	60	45
عرض نطاق التردد الوسيط	MHz		
النبضة القصيرة		28	6
النبضة المتوسطة/الطويلة		6	2,5
الحد الأدنى للإشارة الممكن تمييزها	dBm	126–	
مقدار الضوضاء	dB	8,5	3

(1) لدى استعمال هذا الجدول لحساب متوسط القدرة ينبغي ملاحظة أن الحد الأقصى من تردد تكرار النبضة مرتبط بالحد الأدنى من مدة النبضة والعكس صحيح.

وصف مختصر لوظائف الرادار البحري رقم 3B

الرادار رقم 3B عبارة عن رادار بأجهزة خرج من أشباه الموصلات مطابقة لمتطلبات التصميم الخاصة بالمتطلبات الدنيا للأداء لدى المنظمة البحرية الدولية والمعيار IEC 62388 (الرادار المحمول على متن السفن). وفيما يلي بعض السمات الهامة لهذا الرادار:

- طيف RF متحكم فيه طبقاً لمعايير الاتحاد الدولي للاتصالات وله مجموعة متنوعة من الترددات تضم 8 ترددات RF مختلفة للإرسال لكل منها نبضات مشكلة بإشارات المسح غير الخطية 20 MHz؛
- يستعمل التشكيل الترددي اللاخطي وضغط النبضات لاستعادة استبانة المدى؛
- يتم توليد أشكال موجات الرادار رقمياً؛
- مرسل من أشباه الموصلات تستعمل فيه الترانزستورات بدلاً من المغنيطرون؛
- المرسل والمستقبل فيه مترابطان؛
- يتحدّد وجود الهدف بواسطة المعالجة الرقمية للإشارات التي تستخدم المعالجة الدوبلرية ومعدل للإنذارات الكاذبة الثابتة (CFAR) بعتبة متغيرة؛
- عرض الهوائي 3,9 m وعرض الحزمة الأفقي أقل من درجتين؛
- يستعمل تمييز تردد تكرار النبض؛
- يستعمل تقنيات المعالجة الدوبلرية؛

- تبلغ القدرة الذروية W 200 مع قدرة دنيا قيمتها W 170 لدورة تشغيل بنسبة 13%؛
- يستعمل الرادار أرتال إرسال من ثلاث نبضات مع نبضات قصيرة تسمح بمدى أدنى مقداره m 30، فيما توفر النبضات المتوسطة والطويلة أداء الكشف. ويستخدم الرادار العديد من الأرتال على الهدف لكل عرض حزمة للهوائي؛
- وتوفر معالجة الإشارة بالرادار الحماية من الأزمنة المتعددة حول الإشارات المرتدة، المتولدة من ظاهرة انعكاس الطقس، بما يضمن تسجيل المسافة الفعلية للهدف؛
- يوفر تحسناً في الكشف وفي أداء نبذ الجلبة الناجمة عن الأمطار والبحر؛
- يتم الحفاظ على حجم خلية مدى الرادار على كامل المدى الاسمي؛
- يتوفر فيه أسلوب القدرة المنخفضة.

الملحق 2

معايير الحماية من أجل الرادارات

إن أثر إزالة حساسية رادارات الأرصاد الجوية الذي ينجم عن تشكيل بالموجة المستمرة عريضة النطاق أو عن شبه الضوضاء والذي تسببه أنظمة أخرى، مرتبط على الأرجح بشدة هذا التشكيل. وفي أي قطاع من السمت حيث يحدث هذا النمط من التداخل تكون إضافة الكثافة الطيفية لقدرة هذا التداخل إلى الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الحرارية للمستقبِل في الرادار كافية للحصول على نتيجة موثوقة نسبياً. وإذا كانت الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء في مستقبِل الرادار في غياب التداخل هي N_0 وكثافة التداخل من النمط ضوضاء هي I_0 تكون الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الفعلية الناتجة عنها هي مجموع $I_0 + N_0$. وتنطوي زيادة قدرها 1 dB تقريباً على انحطاط كبير يعادل انخفاضاً في الكشف بنسبة 6% تقريباً. وتقابل هذه الزيادة نسبة $(N + I)/N$ مقدارها 1,26 أو نسبة I/N مقدارها حوالي −6 dB وهذا يمثل الأثر التراكمي المقبول لعدة تداخلات في الحزمة الرئيسية؛ وترتبط النسبة I/N المقبولة لجسم فردي مسبب للتداخل بعدد الأجسام المسببة للتداخل وأشكالها الهندسية وينبغي أن يتم تقديرها عند تحليل السيناريو ذي الصلة.

أما أثر التداخل بالنبضات فهو أصعب على التكمية؛ ويتعلق في الحقيقة إلى حد بعيد بنمط المستقبِل/المعالج الذي تستعمله المستقبِلات وبأسلوب التشغيل في النظام. وبشكل خاص فإن الكسوب الناتجة عن المعالجة التفاضلية لرجوع الهدف الذي يطلق بشكل متزامن ولنبضات التداخل غير المتزامنة عادة غالباً ما يكون لها آثار هامة على السويّات المعينة للتداخل النبضي. وقد تسبب إزالة الحساسية هذه أنماطاً مختلفة من انحطاط الأداء. ويشكل تقدير إزالة الحساسية هدفاً بالنسبة إلى دراسات التفاعل في بعض أنماط الرادار. ويتوقع عادة أن تساهم الوظائف العديدة لرادارات الاستدلال الراديوي في إلغاء التداخل النبضي بنسبة تشغيل ضعيفة وخصوصاً عندما تصدر عن مصادر متفرقة. وأساليب إلغاء التداخل النبضي بدورة منخفضة واردة في التوصية ITU-R M.1372 – كفاءة استعمال الطيف الراديوي من قِبل محطات الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي.

ويُذكر أن ثمة دراسات يُضطلع بها بشأن جدوى استعمال الجوانب الإحصائية والتشغيلية في مجال معايير الحماية من أجل أنظمة رادارات الاستدلال الراديوي. وقد يكون هذا النهج الإحصائي مفيداً في حالة الإشارات غير المستمرة.

1 معايير حماية رادارات الملاحة الراديوية على متن السفن

قد تعجز أنظمة الملاحة الراديوية عن تلبية متطلبات أدائها إذا تسببت إشارات غير مرغوبة في كميات مفرطة من مختلف أنماط الانحطاط بالتداخل. وتبعاً للأنظمة المتفاعلة والسيناريوهات التشغيلية قد تشمل هذه الأنماط ما يلي:

– تأثيرات الانتشار، ومنها مثلاً إزالة تحسس أو انخفاض مدى الكشف، وزوال الأهداف وانخفاض معدل التحديث؛

– تأثيرات منفصلة، ومنها مثلاً التداخل المرصود وزيادة معدل الإنذارات الكاذبة.

وإزاء أنماط الانحطاط هذه ينبغي أن تقوم معايير الحماية على أساس عتبة من قيم المعلمات، فبالنسبة لنظام لتجنب الاصطدام مثلاً:

– التخفيض المقبول في مدى الكشف وما يرتبط به من إزالة تحسس؛

– المعدل المقبول من فاقد المسح؛

– الحد الأقصى المقبول من معدل الإنذارات الكاذبة؛

– المعدل المقبول من فقدان الأهداف الحقيقية.

وتحتاج معايير الحماية هذه والاعتبارات المستخدمة لاستخراجها، بالنسبة لأنظمة الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن، إلى مزيد من التفصيل.

والمتطلب التشغيلي للرادارات على متن السفن مرهون بالسيناريو التشغيلي. وهذا مرتبط بالمسافة من الساحل وعوائق البحر. ومن باب التبسيط توصف هذه السيناريوهات بأنها محيطية أو ساحلية أو مينائية.

وليس هنالك حتى الآن أي اتفاق دولي على معايير الحماية المطلوبة من أجل الرادارات المركبة حالياً على متن السفن بالنسبة للسيناريوهات المحددة أعلاه. غير أن التوصية ITU-R M.1461 تحدد سوية عامة للتداخل/الضوضاء بمقدار –6 dB.

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

وأهم ما في الأمر اتفاقية المنظمة البحرية الدولية لحماية الحياة البشرية في البحر تنص على 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، كنظام الموضعة العالمي (GPS) مثلاً، للتحقق من دلالة الموقع النسبي من حيث سيناريوهات تجنب الاصطدام.

بيد أن تزويد السفن بهذه الأجهزة لا يمكنه مطلقاً أن يأخذ في الحسبان العديد من الأجسام البحرية، من قَبيل جبال الجليد العائمة وحطام السفن العائم وغير ذلك من السفن غير المزوّدة بأنظمة التعرف الأوتوماتي (AIS). وهذه الأجسام قد تصطدم بالسفن ومن ثم ينبغي الكشف عنها بواسطة رادارات السفن. ولذلك، فإن الرادار سوف يبقى النظام الأول لتجنب الاصطدام في المستقبل المنظور.

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

وإبّان ذلك، فإن النهج المتبع هو القيام بتجارب وتقرير المقدار الذي تستطيع الرادارات المحمولة على متن السفن حالياً أن تقبل به من حيث نسب التداخل إلى الضوضاء (I/N) كدالة لاحتمال الكشف (انظر الملحق 3).

الملحق 3

نتائج اختبارات قابلية التأثر بالتداخل

أُجريت تجارب رادارية في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة لتحديد قابلية تأثر رادارات الملاحة الراديوية المحمولة على متن السفن في الوقت الراهن من مختلف أشكال التداخل. وجرى اختبار ثلاثة رادارات للملاحة الراديوية البحرية تعمل في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz لها خصائص مماثلة لتلك الواردة في الجدول 4 لمعرفة قابلية تأثرها بالتداخل من أنماط شتى من الإشارات بما في ذلك: الإبراق التربيعي بزحزحة الطور (QPSK) والنفاذ المتعدد بتقسيم الشفرة (CDMA) والنفاذ CDMA عريض النطاق وتعدد الإرسال التعامدي بتقسيم التردد والإشارات النبضية.

وتُعرض نتائج التجارب في شكل احتمال الكشف كدالة لنسبة التداخل إلى الضوضاء (*I/N*) فيما يتعلق بكل نمط من مصادر التداخل.

ولا بد من الإشارة إلى أن ليس هنالك من مواصفات مستقبلات من وضع الاتحاد الدولي للاتصالات أو غيره متفق عليها دولياً فيما يتعلق بالرادارات البحرية ولذلك لا غرابة أن نجد طائفة واسعة من خصائص المستقبلات تعمل في هذه البيئة التشغيلية. وتعكس نتائج التجارب اتّساع هذه الطائفة وتشير في آن واحد إلى استمرار تراجع احتمال الكشف بارتفاع سوية التداخل وإلى "نقطة فصل" لا يتمكن عندها المستقبِل من قبول السوية المحددة من التداخل القائمة على أساس 90 في المائة من احتمال الكشف (في إطار مسحة واحدة).

وهذه الاختلافات حقيقية وهي قائمة في الرادارات التشغيلية.

1 خصائص رادارات الاختبار

كل من رادارات الاختبار هو نمط من الرادارات ينتمي إلى فئة المنظمة البحرية الدولية (IMO). وخصائص كل من الرادارات (معرّفة بأنها رادارات A وB وC) معروضة أدناه في الجداول من 5 إلى 7. والقيم الاسمية للمعلمات الرئيسية للرادارات مستقاة من وثائق الموافقة على النمط التنظيمي ومن كُتيّبات البيع والأدلة التقنية. ولم يُختبر أيٌّ من رادارات مراكب النزهة. وتستعمل رادارات الفئة A والفئة C مجسم/كاشف لوغاريتمي في تصميم مستقبلاتها، أما رادارات الفئة B فتستعمل مجسم لوغاريتمي متبوع بكاشف فيديوي منفصل. وفي جميع الرادارات لم يجرِ تفعيل ضبط زمن الحساسية (STC) أو ثابت الزمن السريع (FTC).

2 ملامح إلغاء التداخل في مستقبِل الرادار

تستخدم جميع الرادارات مجموعة دارات وتعالج الإشارة لتقليل التداخل من رادارات أخرى في نفس الموقع. ويتميَّز الرادار A بمعالجة مكثفة للإشارة ومقدِرة على تتبُّع الهدف، بما في ذلك إمكانية ثبات معدل الإنذار الكاذب متكيِّفة محلياً وإمكانية مطابقة مسحة مقابل مسحة. ويستخدم كلا الرادارين B وC مطابقات نبضة مقابل نبضة ومسحة مقابل مسحة لتقليل التداخل من رادارات أخرى. ولا يتمتع الراداران B وC بإمكانية ثبات معدل الإنذار الكاذب (CFAK). ويرد وصف تقنيات تقليل التداخل هذه في التوصية ITU-R M.1372.

3 أطياف إرسال الإشارات المتداخلة

تبدو أطياف إرسال الإشارات المتداخلة في الأشكال من 1 إلى 3. وباستثناء إشارة الإبراق التربيعي بزحزحة الطور (QPSR) التي غرست في الرادار A وإشارة التشكيل الاتساعي التربيعي (QAM) التي غرست في الرادارين الآخرين، تم تسديد إشارات التداخل الأخرى بحيث تتوافق في نفس السمت مع توليد الهدف. وفي جميع الحالات كانت الإرسالات متناغمة مع التردد التشغيلي للرادارات.

الجدول 5

الرادار A: معلمات المرسِل والمستقبِل

المعلمة	الوحدات	القيمة			
عرض حزمة الهوائي الأفقية	بالدرجات	1,9			
التردد	MHz	30 ± 3 050			
قدرة النبضة	kW	30			
المدى	nm	1,5-0,375	6-3	12	96-24
عرض النبضة	µs	0,08	0,30	0,60	1,2
تردد تكرار النبضة (PRF)	Hz	2 200		1 028	600
عرض نطاق التردد الوسيط (IF)	MHz	28	3	3	3
رفض الاستجابة الهامشية	dB	60			
رقم ضوضاء النظام	dB	4			
عرض نطاق التردد الراديوي	MHz	N.A			
معدل مسح الهوائي	rpm	26			
زمن مسح الهوائي	بالثواني	2,31			
عرض حزمة الهوائي الرأسية	بالدرجات	22			
الاستقطاب		أفقي			

N.A: غير متاح.

الجدول 6

الرادار B: معلمات المرسِل والمستقبِل

المعلمة	الوحدات	القيمة			
التردد	MHz	10 ± 3 050			
قدرة النبضة	kW	30			
المدى	nm	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 التردد الوسيط (IF)	MHz	22	22	6	6
رفض الاستجابة الهامشية	dB	N.A			
رقم ضوضاء النظام	dB	5,5			
عرض نطاق التردد الراديوي	MHz	N.A			
معدل مسح الهوائي	rpm	24/48			
عرض حزمة الهوائي الأفقية	بالدرجات	2,8			
عرض حزمة الهوائي الرأسية	بالدرجات	2,8			
الاستقطاب		أفقي			

N.A: غير متاح.

الجدول 7

الرادار C: معلمات المرسِل والمستقبِل

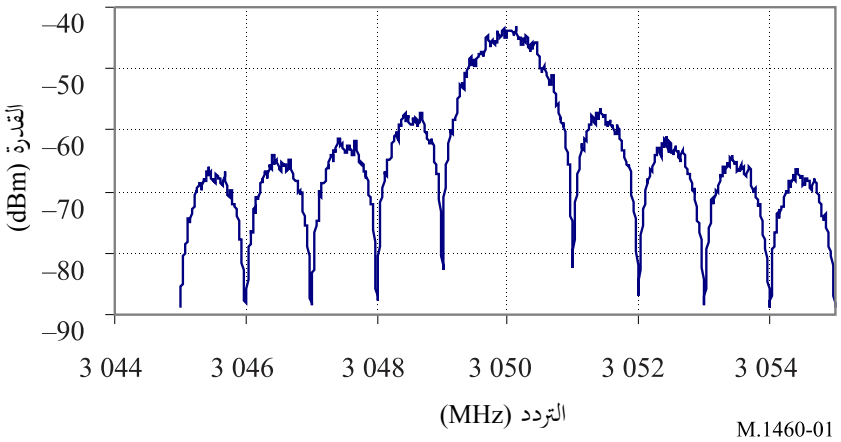
المعلمة	الوحدات	القيمة		
التردد	MHz	10 ± 3 050		
قدرة النبضة	kW	30		
المدى	nm	3-0,125	24-6	96-48
عرض النبضة	µs	0,050	0,25	0,80
تردد تكرار النبضة (PRF)	Hz	1 800		78,5
عرض نطاق التردد الوسيط (IF)	MHz	20	20	3
رفض الاستجابة الهامشية	dB	N.A		
رقم ضوضاء النظام	dB	4		
عرض نطاق التردد الراديوي	MHz	N.A		
معدل مسح الهوائي	rpm	48/25		
معدل مسح الهوائي	بالثواني	2,31		
عرض حزمة الهوائي الأفقية	بالدرجات	2,0		

N.A: غير متاح.

الشكل 1

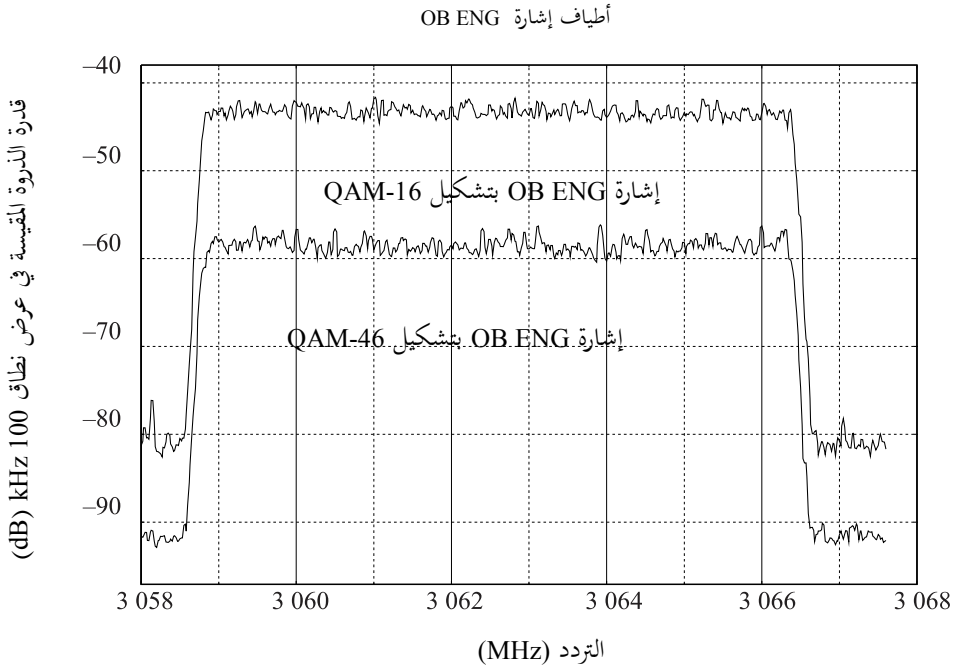
أطياف إرسال إشارة QPSK الموجية

إشارة QPSK بمقدار 2 Mbit/s



الشكل 2

تجميع إلكتروني للأخبار (ENG)/مصدر إذاعة خارجية (OB) بأسلوبي تشكيل 16 وQAM-64 في الموجة حاملة البيانات (معيار ETSI 300 744)

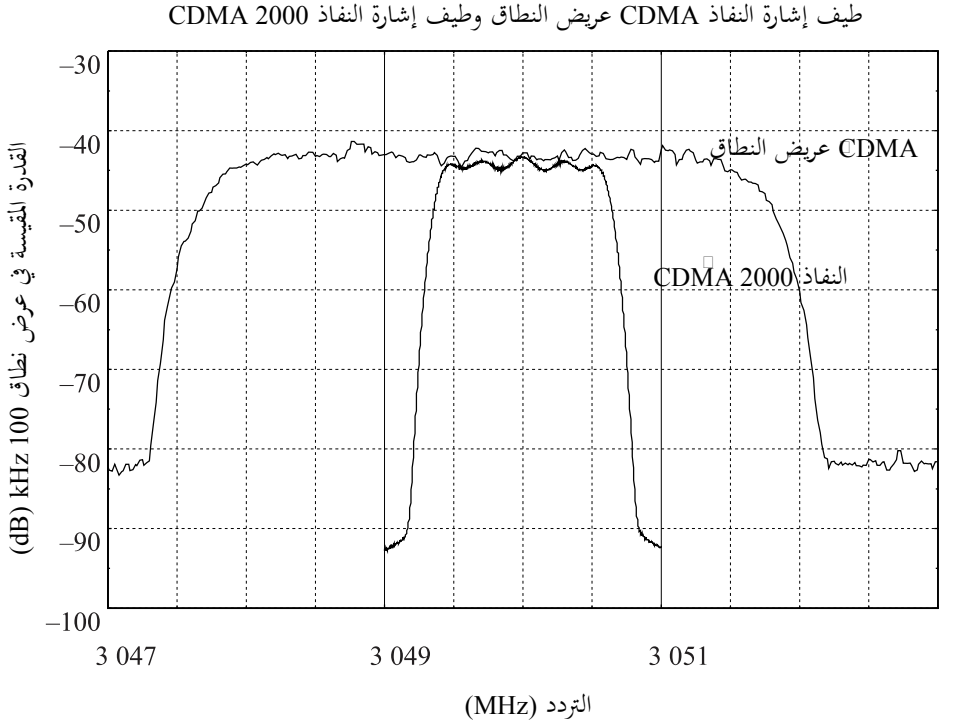


ملاحظة – منحنيات الطيف متخالفة في الاتساع لوضوح الرسم.

M.1460-02

الشكل 3

إشارات W-CDMA لأوروبا وCDMA-2000 للولايات المتحدة/اليابان (وصلة العودة)



M.1460-03

4 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 ومزاوجات ومجمعات وغيرها)، لتوليد عشرة أهداف متساوية التباعد على امتداد نصف قطر قدره ثلاثة أميال بحرية ولها نفس سوية قدرة التردد الراديوي. وجرى تعديل سوية القدرة في الأهداف المصطنعة إلى أن بلغ احتمال كشف الهدف نحو 90 في المائة. 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 سوية بحيث تكون الأهداف العشرة كلها مرئية على امتداد نصف القطر في لوحة مؤشر موقع النبضة (ppi) ووُضعت مفاتيح تحكّم فيديو الرادار في أوضاع تشغيل اعتيادي نمطي. وقد تم التوصل إلى قيم خط الأساس لوظائف البرمجية التي تتحكم بمعايير لمعان ولون وتباين الهدف والخلفية من خلال عملية التجريب 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. وحالما تتحدد هذه القيم فإنها تستخدم طوال مراحل برنامج اختبار ذلك الرادار.

ويوفر نظام توليد الأهداف أهدافاً غير متقلبة، أي أن المقطع العرضي للرادار (RCS) يبقى ثابتاً عند كل مسافة.

5 نتائج الاختبار

1.5 الرادار A

رُصدت أهداف الصورة الفيديوية على لوحة مؤشر موقع النبضة (ppi) في الرادار لدى إطلاق إرسالات من مولد إبراق QPSK إلى مُستقبِل الرادار. وتم تعديل سوية قدرة إرسال QPSK إلى أن أصبح مظهر لوحة ppi في الرادار في حالة خط الأساس.

وتم تعديل سوية قدرة تموّج QPSK ضمن مدى من القيم بحثاً عن السوية التي لا تؤثر عندها إرسالات QPSK سلباً على أداء الرادار عند عرض الأهداف الفيديوية. وبيّنت النتائج أن تأثيرات موجية QPSK كانت مهملة على لوحة ppi في الرادار عند سوية قدرة تبلغ نحو –112 dBm (مقيسة ضمن عرض نطاق قدره 3 MHz). وتبلغ قدرة ضوضاء مستقبِل الرادار نحو –104 dBm وتكون نسبة *I/N* الناتجة نحو –8 dB.

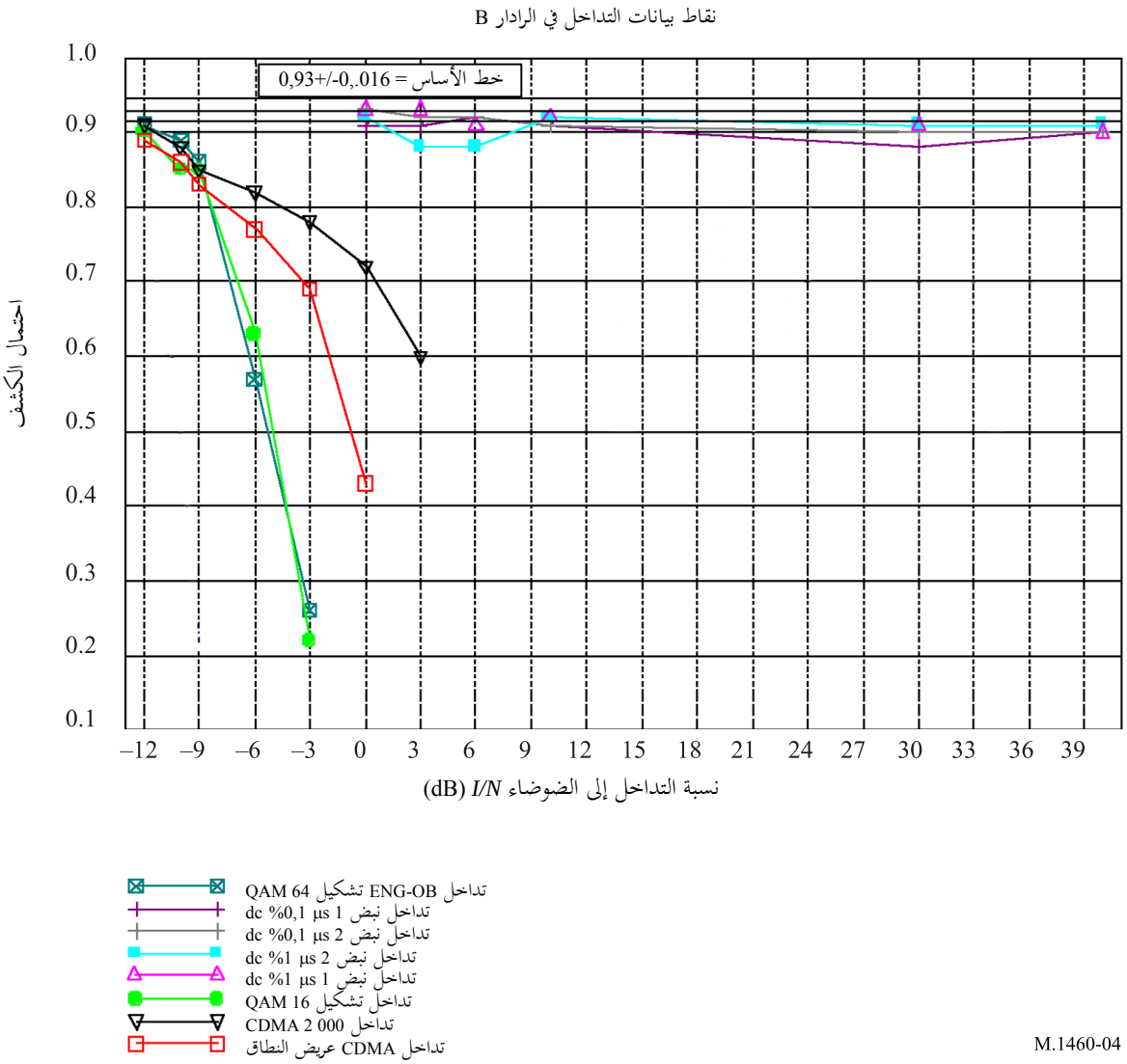
2.5 الرادار B

بالنسبة للرادار B 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 ازدادت سوية النسبة *I/N*. وجرى تعداد الأهداف عند كل سوية *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. كما جرى تعداد احتمالات كشف الأهداف عند خط الأساس قبل بداية كل اختبار. ونتائج الاختبارات التي أُجريت على الرادار B مبيّنة في الشكل 4 أدناه، الذي يبيّن احتمال كشف الهدف مقابل سوية *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. وخط الأساس في الشكل 4 هو 0,93 حيث شريط خطأ سيغما 1 يكون بمقدار 0,016 فوق تلك القيمة ودونها. ويلاحظ أن كل نقطة في الشكل 4 تمثل مجموع 500 هدف مرغوب.

يبيّن الشكل 4 أن احتمال كشف الهدف، باستثناء حالة التداخل النبضي، قد انخفض دون خط أساس احتمال الكشف المستخدم في هذه الاختبارات منقوصاً الانحراف المعياري لقيمة *I/N* التي تتجاوز –12 dB لجميع الإشارات غير المطلوبة التي استخدمت تشكيلاً رقمياً.

الشكل 4

منحنى احتمال كشف الأهداف في الرادار B



3.5 الرادار C

بالنسبة للرادار C كان من الصعب تعداد التناقص في احتمال كشف الهدف لدى غرس التداخل في مستقبِل الرادار. فقد تسبب التداخل في خبو جميع الأهداف بنفس المعدل مهما كان موقعها في صفيفة الأهداف. ولم يكن من الممكن جعل فُرادى الأهداف "تختفي" بزيادة قدرة التداخل وتعداد الأهداف المفقودة لحساب احتمال الكشف. ولذلك، فإن البيانات المأخوذة للرادار C تعكس ما إذا كان ظهور جميع الأهداف يتأثر أم لا عند كل سوية *I/N* لكل نمط من أنماط التداخل. وبيانات الرادار C موجزة أدناه في الجدولين 8 و9.

تبيّن البيانات الواردة في الجدول 8 أن إشارات QAM غير المطلوبة قد أثرت على إمكانية رؤية الأهداف من جانب الرادار C على لوحة ppi فيه عند سوية *I/N* قدرها –9 dB. وعند هذه السوية كانت درجة لمعان الأهداف على لوحة ppi أعتم قليلاً من حالتها عند خط الأساس. وعند سوية *I/N* بمقدار –6 dB اشتدّت عتامةً وعند سويات تتجاوز –3 dB عتمت الأهداف لدرجة أنها لم تَعُد مرئية على لوحة ppi.

تبيّن البيانات الواردة في الجدول 9 أن إشارات النفاذ CDMA غير المطلوبة قد أثرت على إمكانية رؤية الأهداف من جانب الرادار C على لوحة ppi فيه عند سوية *I/N* قدرها –6 dB. وعند هذه السوية كانت درجة لمعان الأهداف على لوحة ppi أعتم كثيراً من حالتها عند خط الأساس. وعند سويات *I/N* تتجاوز –3 dB عتمت الأهداف لدرجة أنها لم تعُد مرئية على لوحة ppi.

وبالنسبة للرادار C فإن التداخل النبضي المبوّب بمقدار 2,0 و1,0 µs ونوبات العمل بنسبة 0,1% و1,0% لم تؤثر على إمكانية رؤية الأهداف على لوحة ppi عند أعلى سوية *I/N*، والتي كانت بمقدار 40 dB.

الجدول 8

الرادار C متعرّضاً لتداخل مستمر من التجميع الإلكتروني للأخبار (ENG)/ من مصدر إذاعة خارجية (OB)

نسبة *I/N* (dB)	QAM-64	QAM-16
12–	لا تأثير	لا تأثير
10–	لا تأثير	لا تأثير
9–	أهداف معتمة قليلاً	أهداف معتمة قليلاً
6–	أهداف معتمة	أهداف معتمة
3–	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
0	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
3	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
6	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية

الجدول 9

الرادار C متعرضاً لتداخل النفاذ CDMA "المبوّب"

نسبة *I/N* (dB)	CDMA عريض النطاق	CDMA 2000
12–	لا تأثير	لا تأثير
10–	لا تأثير	لا تأثير
9–	لا تأثير	لا تأثير
6–	أهداف معتمة	أهداف معتمة
3–	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
0	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
3	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية
6	أهداف غير مرئية	أهداف غير مرئية

6 موجز نتائج التجارب

أُجريت تجارب رادار الغرض منها أن تحدد، بالنسبة لرادارات معيّنة تستخدم أهدافاً ومصادر تداخل غير متقلّبة، سوية *I/N* "لا تتأثر" عندها من التداخل (أي أن الرادار يعمل في ظروف خط الأساس). ولوحظ و/أو أُخذ في الحسبان بمثابة أهداف في هذه الاختبارات بعض عوائد الرادار غير المعالجة المعروفة عموماً باسم "ومضات" (blips) أو "فيديو خام".

وسوية "اللاتأثر" هذه توصف على أنها مقابل احتمال كشف بنسبة 90% وتُلخص فيما يلي أدناه في شكل *I/N* لكل رادار ولكل مصدر تداخل. والنتائج ملخصة في الجدول 10. وقد يكون تقرير الكمية المقبولة من التداخل لهذه الأنماط من الرادارات مسألة ذاتية إلى حد ما وذلك بحكم حدّة بصر وخبرة عامل الرادار الذي يراقب لوحة ppi ويعد الأهداف ويقدّر درجة لمعان الأهداف ذاتها. ولكن، نظراً لتصميم الرادار، ليس هنالك من وسيلة أخرى لإجراء هذه الاختبارات سوى أن يقوم العامل/المختبر بمراقبة الأهداف على لوحة ppi في الرادار.

الجدول 10

موجز نتائج الأهداف غير المتقلّبة

مصدر التداخل	الرادار A	الرادار B	الرادار C
QPSK	8–	–	–
QAM-64	–	10–	10–
QAM-16	–	12–	10–
نبضة 0,1	–	40+	30+
نبضة 1,0	–	40+	30+
CDMA 2000	–	10–	9–
CDMA WB (عريض النطاق)	–	10–	9–

وجدير بالملاحظة أن هنالك ثلاثة تأثيرات أخرى من التداخل تُخفّض من الفعالية التشغيلية في رادار ما، مثال ذلك اختلاق "أهداف كاذبة". والرادارات المحمولة على متن السفن والتي جرى اختبارها لا تحتوي عموماً على معالجة "معدل إنذار كاذب ثابت" (CFAR). وكان الرادار A فقط، الذي يُستخدم من أجل مهام تنظيمية إضافية، يحتوي على قدر أعلى من معالجة (CFAR) وكان بمقدوره عرض أهداف معالجة/مصطنعة.

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

ولا ينتمي أيٌّ من الرادارات المختبرة إلى فئة مراكب النزهة. 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 مراكب النزهة لا تتوفر فيها مزايا جملة الدارة/المعالجة لإلغاء التداخل التي تتوفر في الرادارات A وB وC، أو تقنيات تخفيف التداخل الأخرى الوارد ذكرها في التوصية ITU-R M.1372، وقد تتطلب المزيد من الحماية لكي تتمكن من تلبية متطلباتها من حيث تجنّب الاصطدام.

وتبيّن الاختبارات أن بإمكان الرادارات تحمّل قدر منخفض من التداخل النبضي المرتبط بالدورة عند سويات *I/N* مرتفعة وذلك بسبب إدخال جملة دارات لتخفيف التداخل بين رادار وآخر و/أو معالجة الإشارة. وقد تبيّن أن تقنيات تخفيف التداخل بين رادار وآخر التي تعتمد اقتران المسحة مقابل المسحة والنبضة مقابل النبضة ومعالجة معدل إنذار كاذب ثابت (CFAR) الموصوفة في التوصية ITU-R M.1372 تعمل على ما يرام. ولكن نفس التقنيات غير مجدية لتخفيف إرسالات الدورة المستمرة أو بدورة تشغيل عالية التي تبدو شبيهة بالضوضاء داخل مستقبِل الرادار.

وبما أن معظم الرادارات البحرية العاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz متماثلة إلى حد بعيد من حيث التصميم والتشغيل، فمن غير المنتظر أن يكون هنالك اختلاف كبير عن معايير الحماية التي استخرجت من أجل الرادارات التي استُخدمت لهذه الاختبارات. ولذلك فإن نتائج الاختبار هذه ينبغي أن تنطبق على رادارات مماثلة أخرى تعمل أيضاً في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz.

وينبغي للسلطات التي ترغب القيام بدراسات تقاسم، بهدف احتمال التقاسم في نطاقات الترددات قيد النظر، أن تستخدم هذه النتائج من قَبيل الاسترشاد، علماً بأن نتائج الاختبار المعروضة في القسمين 5 و6 وخصوصاً في الجدول 10 كانت على أساس أهداف غير متقلّبة وإشارات اتصالات عريضة النطاق تمت نمذجتها كما لو كانت ضوضاء. فإذا ما أُجريت اختبارات على أساس أهداف متقلّبة فإنها سوف تتمخّض على الأغلب عن نتائج مختلفة.

_____