الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R M.1460-1

(2006/03)

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

السلسلة M

الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

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	العنـــوان
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 التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة**
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
S	الخدمة الثابتة الساتلية
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
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، 2010

© ITU 2010

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).

التوصيـــة ITU-R M1460-1[**,*]

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

(المسألتان ITU-R 226/5 وITU-R 216/5)

(2006-2000)

1 مجال التطبيق

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

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة 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 النطاق الواحد؛

ج) أن قطاع الاتصالات الراديوية يبحث إمكانية إدخال أنماط جديدة من الأنظمة أو الخدمات في النطاقات الواقعة بين MHz 420 وGHz 34 التي تستعملها الرادارات في خدمة الاستدلال الراديوي؛

د) 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 النطاق MHz 3 100-2 900 ترد في التوصية ITU-R M.824؛

ب) أن الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الملاحة الراديوية للطيران ورادارات الأرصاد الجوية العاملة في النطاق MHz 3 100-2 900 يجب أن تكون مماثلة لخصائص الرادارات العاملة في النطاق MHz 2 900-2 700 الواردة في التوصية ITU-R M.1464؛

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،

---

* 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.

** أدخلت لجنة الدراسات 5 التابعة للاتصالات الراديوية تعديلات صياغية على هذه التوصية في عام 2009 طبقاً للقرار ITU-R 1.

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،

توصـــي

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 النطاق 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 النطاق 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)[1] ينبغي أن تُؤخذ في الحسبان. (انظر أيضاً التقرير ITU-R M.2050).

الملحق 1

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

1 مقدمة

يعمل عدد كبير من الرادارات المنقولة والرادارات على متن السفن في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz. وتتناول الفقرات من 2 إلى 4 بالتفصيل الرادارات على متن السفن للتحديد الراديوي للموقع. وتعرض الفقرتان 5 و6 بإيجاز رادارات الملاحة الراديوية. أما الفقرة 7 فتتناول بالدراسة رادارات الأرصاد الجوية.

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

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

[1] موضوع تقلبات المقطع العرضي للرادار قيد الدراسة في قطاع الاتصالات الراديوية.

وجميع أنظمة التحديد الراديوي للموقع موضوع البحث هي رادارات مراقبة عالية القدرة. وتستعمل أساساً معظم رادارات التحديد الراديوي للموقع العاملة في النطاق 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، 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 هذا النطاق 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؛
- يُزود بعضها بحزم متعددة أو قابلة للتوجيه في الارتفاع بتحكم إلكتروني؛
- 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.

الجـــدول 1

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

الخصائص	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3
مدى التوليف الكلي (MHz)	910 2-100,5 3	القيمة الاسمية 900 2-100 3	910 2-100,5 3
خيارات التوليف والعلاقة تردد/ارتفاع	حتمي: تردد مرتفع ⟸⟹ زاوية ارتفاع منخفضة		
التردد عند الأفق (MHz)	بحر هادئ: 048 3-051 3	بحر هادئ: 055 3	بحر هادئ: 051 3
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 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°)

الجـــدول 1 (*تابع*)

الخصائص	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3
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" MF خطي	غير مشكل
أجهزة خرج RF في المرسل	Klystron	مكبّر بمجالات متصالبة (amplitron)	Klystron
مِرشاح المرسل		تمرير عالي؛ $f_{co} \leq$ 2 840 MHz	
القدرة الذروة القصوى للمرسل	1-0,9 MW في الأفق عند 35°	MW2,2 في الأفق عند 5°	1,5-1,0 MW في الأفق عند 35°
قدرة الذروة للمرسل عند ارتفاعات أعلى و/أو بأسلوب مدى أقل	تنخفض القدرة ببطء من 1 MW تقريباً عند 35° إلى 300 kW عند 41,6°	600 kW عند 5,5°-21°؛ 60 kW تحت 21° وفي الأفق في معظم النبضات MTI	تنخفض القدرة ببطء من 1 MW تقريباً عند 35° إلى 300 kW عند 41,6°
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
نسبة انضغاط النبضة	لا يوجد	عادي وMTI و"burn-thru": لا يوجد بالأسلوب "chirp-thru": 9	لا يوجد
عرض نطاق المُرسل عند 3 dB	عرض النبضة 1,0 µs: 100 kHz تقريباً عرض النبضة 4,6 µs: 225 kHz تقريباً عرض النبضة 2,5 µs: 700 kHz تقريباً	عادي وMTI: 300 kHz/ نبضة فرعية أسلوب "chirp-thru": 300 kHz أسلوب "burn-thru": 34 kHz	عرض النبضة 1,0 µs: 100 kHz تقريباً عرض النبضة 4,6 µs: 225 kHz تقريباً عرض النبضة 2,5 µs: 700 kHz تقريباً
عرض نطاق المرسل عند 20 dB		عادي وMTI: 2 MHz/ نبضة فرعية الأسلوب "chirp-thru": 700 kHz الأسلوب "burn-thru": 240 kHz	
PRI (µs)[1]	متغير يتراوح بين 2 050 و500 (2 050 عند الأفق) ثابت: 2 116	الأسلوب العادي: متغير بين 2 890 و732 (2 830 عند الأفق) أسلوب "burn-thru"، أسلوب "chirp-thru" وارتفاع منخفض: ثابت: 2 830 أو 4 850 أو 6 180	متغير يتراوح بين 3 106 و426 (3 106 عند الأفق)
متوسط PRI لنبضات القدرة الكاملة المحتوية على حزم عند مستوى الأفق (µs)		الأسلوب العادي: 5 120 الأسلوب 5°: 4 977 MTI لثلاث نبضات طويلة المدى: 5°: 4 357، 45°: 6 760 MTI لأربع نبضات قصيرة المدى: 5°: 10 534، 45°: 19 695 (1 أو 2 نبضة فرعية/نبضات تصل إلى الأفق)	مدى طويل: 7 491 مدى طويل/ارتفاع منخفض: 6 190 زاوية مرتفعة: 10 972 ارتفاع محدود: 7 383 معدل معطيات مرتفع: 14 020 MTI: 9 886 أو 10 903 (على عمليات مسح سمتي متناوبة)
استقطاب	أفقي		

الجـــدول 1 *(تتمة)*

الخصائص	رادار رقم 1	رادار رقم 2	رادار رقم 3
كسب الهوائي (dBi)	الوحدات الأولى: 33,5 الوحدات الأخيرة: 37	38,5	37
فتحة حزمة الهوائي (بالدرجات)	السمت: 1,9 الارتفاع: 2,25	السمت: 1,5 الارتفاع: 1,6	السمت: 1,9 الارتفاع: 2,25
تخالف التردد لتغير ارتفاع قدره BW ½	2,25 MHz (0,5° لكل MHz)	4,1 MHz (0,39° لكل MHz)	2,25 MHz (0,5° لكل MHz)
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
إلغاء الفصوص الجانبية البعيدة	غالباً ما يكون محدوداً من جراء تناثر البُنى		
نمط المسح في سمت الهوائي (بالدرجات)	360° مستمرة		
الفاصل الزمني بين مقطعي هوائي متتاليين بنفس الاتجاه	الوحدات الأولى: أسلوب عادي: 4 أسلوب MTI: 5,2 أسلوب معالجة فيديوي ترابطي: 12,5 الوحدات الأخيرة: 8، 6، 4	4 و8	8 و6 و4
مسح ارتفاع الهوائي (بالدرجات)	الوحدات الأولى: 0-48 الوحدات الأخيرة: 0,3-41,6	0-45	0,3-41,6
تشكيل حزم ارتفاع منفصلة	استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة	استقبال متآون عبر 9 قنوات متوازية مع تغير تتابعي من نبضات إلى أخرى	استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة
عرض النطاق RF للمستقبل[2]	200 MHz (بالتقدير)	≤ 200 MHz	200 MHz
عرض النطاق IF للمستقبل[2]	500 kHz	350 kHz للقناة الواحدة 12 MHz لمجموع القنوات	مدى طويل: 80 kHz زاوية مرتفعة: 174 kHz معدل معطيات مرتفع وMTI: 348 kHz
كسب المعالجة نسبة إلى الضوضاء (dB)		الأسلوب "chirp": 9	
حساسية الإشارة المطلوبة أو سوية الضوضاء (dBm) (عند بوابة الهوائي)	سوية الضوضاء: −109		
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]
سنوات التشغيل	1960-... (استبدلت بالرادارين رقم 2 ورقم 3)	1965 – إلى اليوم	1965 – 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 المُرسل RF وIF عند بوابة الهوائي.

[3] يرسل الستروبوسكوب، كاشف التداخل، خطاً شعاعياً مرئياً يُظهر اتجاه مصادر بعض أشكال التداخل.

الجـــدول 2

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

الخصائص	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
مدى التوليف الكلي (MHz)	905 2-080 3	القيمة الاسمية 901,5 2-098,4 3	900 2-100 3
خيارات التوليف وعلاقة التردد بالارتفاع	حتمي تردد منخفض ⟸⟹ زاوية ارتفاع منخفضة MHz / °0,15-°0,1	أ) تردد ثابت ب) خفة حركة التردد من نبضة إلى نبضة (≥ 16 تردد): – تحددها البيئة – عشوائية ج) MTI (رشقات من 12 نبضة): خفة حركة تردد تحددها البيئة أو عشوائية	أ) تردد ثابت ب) خفة حركة التردد من نبضة إلى نبضة (16 تردد من 4 فئات لكل منها): – تحددها البيئة – عشوائية ج) MTI (رشقات من 4 نبضات): خفة حركة تحددها البيئة أو عشوائية
التردد عند الأفق (MHz)	924 2-935 2	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 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 MHz 2,8 بين النبضات الفرعية المجاورة. النبضة المشفرة: 3 نبضات فرعية قدر كل منها µs 9,9 ومؤلفة من 13 رقاقة مشفرة "Burn-thru": غير مشكل	تشفير ثنائي الطور (بارکر 13)	
أجهزة خرج RF للمرسل	مكبر متقاطع المجالات	Twystron	
مرشاح المرسل	تمرير عالٍ		لا يوجد التوافقية الثانية ملغاة عند dB 60 التوافقية الثالثة ملغاة عند dB 50
أقصى قدرة ذروة للمرسل	MW 2,2 لزاوية ارتفاع محصورة بين °0 و°7,2 باستثناء kW 60 في الحزم MTI في زاوية ارتفاع محصورة بين °0 و°3	MW 2,8	MW 3,0
قدرات الذروة للمرسل في زوايا ارتفاع عالية و/أو أمدية منقصة	kW 665 لزاوية ارتفاع محصورة بين °7,2 و°12,6 kW 60 لزاوية ارتفاع قدرها °12,6	قدرة المرسل موزعة على عدة حزم بطريقة تشكل فيها تقريباً مخططاً من النمط cosec[2]	قدرة المرسل موزعة على عدة حزم مع زاوية ارتفاع محصورة بين °0 و°20

الجـــدول 2 *(تابع)*

الخصائص	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
عرض النبضة/النبضة الفرعية للمرسل	عادي: 6 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة 5 µs لزاوية ارتفاع منخفضة وقدرة عالية؛ 9 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة 3 µs لزاوية ارتفاع عالية MTI: 9 نبضات فرعية متلاصقة قدر الواحدة منها 3,3 µs نبضة مشفرة: 3 نبضات متلاصقة قدر الواحدة منها 9,9 µs، ومؤلفة من 13 نبضة فرعية (رقاقات تبلغ الواحدة منها 0,76 µs)	6,5 µs	نبضة مشفرة قدرها 6,5 µs
نسبة انضغاط النبضة	نبضة مشفرة: 13	13	
عرض نطاق المرسل عند 3 dB	عادي وMTI: 350 kHz لكل نبضة فرعية نبضة مشفرة: 1,3 MHz للحزم مع انضغاط النبضة	2 MHz تقريباً	1,4 MHz
عرض نطاق المرسل عند 20 dB		9,5 MHz	2,7 MHz (5,9 MHz عند 40 dB و40 MHz عند 60 dB)
PRI[1]	متغير بين 3 772 µs عند الأفق و1 090 µs عند 18° باستثناء 1 090 µs للأسلوب MTI	ثابت: 4 082، 4 000 أو 3 873 µs متخالف بطريقة حتمية: 3 597 ← 3 788 ← 4 255 ← 4405 ← 3 876 ← 4 082 µs ← 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: 9 670 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؛ 35,7؛ 35,3؛ 35,5؛ 32,1 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 cosec[2]	السمت: 1,6 الارتفاع: 20 للإرسال و2,3-6,0 للاستقبال
تخالف التردد بالنسبة إلى تغير ارتفاع قدره 1/2 BW			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"

الجـــدول 2 (*تتمة*)

الخصائص	رادار رقم 4	رادار رقم 5	رادار رقم 6
نمط المسح السمتي للهوائي (بالدرجات)	360° مستمرة		
الفاصل الزمني بين تكرار مرور الهوائي في نفس الاتجاه (بالثواني)	10		9,4 (6,4 rpm)
مسح الارتفاع للهوائي (بالدرجات)	بين 1 و18	لا يوجد مسح تغطي حزمة المرسل زاوية ارتفاع تقع بين 0 و20	
تشكيل حزم ارتفاع منفصلة	استقبال تتابعي عبر قناة وحيدة	حزمة الإرسال البالغة 20° مقسومة على 6 حزم عند الاستقبال وتعمل بالتآون في 6 قنوات متوازية	6 حزم مكدسة عند الاستقبال تعمل بالتآون في 6 قنوات متوازية
عرض النطاق RF في المستقبل	200	> 200 (باستعمال خلاط بتوهين تردد الصورة في كل قناة)	
سويات التشبع RF وIF في المستقبل عند بوابة الهوائي		35− dBm	مدى دينامي: 90 dB باستعمال يصل إلى 46,5 dB من الكسب STC
عرض النطاق IF للمستقبِل	عادي وMTI: 350 kHz نبضة مشفرة: 1,3 MHz	1,6 MHz	1,1 MHz عند 3 dB 3,4 MHz عند 20 dB 12,1 MHz عند 60 dB
كسب المعالجة نسبة إلى الضوضاء (dB)	عادي/غير MTI: 3 dB (تكامل فيديو نبضتان) النبضة المشفرة: 11 dB	10 dB (انضغاط النبضة) + 9 dB (تكامل النبضة) = 19 dB	11 dB (انضغاط النبضة) استعمال MTI مع 4 نبضات
حساسية الإشارة المطلوبة أو سوية الضوضاء (dBm) (عند بوابة الهوائي)	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 – اليوم	1975 – اليوم	نهاية الثمانينات – اليوم

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

تستعمل المختصرات والمصطلحات التالية في الجداول:

⇐⇒: تقابُل (بين الموجة الحاملة للتردد وزاوية الارتفاع)

AGC: تحكم أوتوماتي بالكسب

"Burn-thru": أسلوب تتمركز فيه القدرة في قطاع ضيق مرتفع لتسهيل كشف الأهداف في الظروف الصعبة

BW: عرض النطاق أو فتحة الحزمة حسب الحالة

"Chirp-thru": نمط من أنماط الأسلوب "burn-thru" يستعمل فيه الانضغاط من أجل تخفيف صدى جلبة الرادار

معالجة فيديوية ترابطية: معالجة فيديوية ترابطية (ترابط بين النبضة والنبضة)

CSG: جيل الستروبوسكوب النظيف وهي تقنية تفيد في كشف الإشارات الواردة من مصادر نشيطة بواسطة الرادار العامل كمستقبل فقط. ويمكن استعماله مع إلغاء الفصوص الجانبية أو دونه

Dicke fix: حد صارم للإشارة المركبة المستقبَلة (صدى رادار زائد تداخل) في عرض نطاق أكبر بكثير من عرض إشارة الرادار المطلوبة يتبعه الترشيح من أجل تنقيص عرض النطاق. ويستعمل هذا الجهاز للحد من التداخل العريض النطاق

fco: تردد قطع المرشاح

FTC: تقطيع الأصداء الطويلة

INT: تكامل (فيديوي) النبضات المتعددة غير المتجانسة

ستروبوسكوب كاشف للتداخل (Jam strobe): تقنية مشابهة لتقنية CSG

PRI: الفاصل الزمني بين تكرار النبضات

PRF: تردد تكرار النبضات

PW: عرض النبضة

STC: كسب متغيِّر بتغيُّر الزمن

WPB: طمس النبضات العريضة.

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 مستقبلة/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 المَديات الكبيرة في هذه الحالة تقابل ارتفاعات فوق الجو. ويمكن تخفيض قدرة الذروة للمرسل في زوايا الارتفاع الأكثر علواً لأن المَديات 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 لكل 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 المستعمَلة 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 ترددها البالغة 200 MHz 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 باركر 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 المُرسلات الرادارية التي تستعمل أجهزة المجالات المتقاطعة مثل أجهزة الرادارين 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 هذا النطاق 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 هذا النطاق 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 النطاق المذكور أقل عدداً بكثير من رادارات الملاحة البحرية. وجميع السفن التي يتجاوز وزنها 3 000 طن تقريباً مزودة برادارات ملاحة تعمل في هذا النطاق.

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.

وينبغي تزويد الرادارات المستقبلية كما هو الحال بالنسبة إلى الرادارات الحالية رقم 1 و2 و3 و4 بهوائي يوجه 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 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 النطاق 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 المُرسلات 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 [2]

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

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

[2] 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.

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

الجـــدول 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 والمرسل/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.

الجـــدول 4

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

الخصائص	MHz 3 100 – 2 900	
	الحد الأقصى	الحد الأدنى
هوائي (إرسال/استقبال):		
عرض الحزمة (حتى –3 dB) (بالدرجات		
أفقياً	4,0	1,0
رأسياً	30,0	24,0
توهين الفص الجانبي (dB)	28	23
ضمن ± 10º	28	23
خارج ± 10º	32	31
الكسب (dB)	28	26
معدل الدوران (دورة في الدقيقة)	20	20
المرسل:		
القدرة الذروة (kW)	75	30
التردد (MHz)	3 080	3 020
مدة النبضة(1) (µs)	1,2	0,05
تردد تكرار النبضة[1] (Hz)	4 000	375
المستقبل:		
التردد الوسيط (IF) (MHz)	60	45
عرض نطاق التردد الوسيط (MHz)		
النبضة القصيرة	28	6
النبضة المتوسطة/الطويلة	6	2,5
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.

6 رادارات الملاحة الراديوية للطيران

فرنسا

لم يتحدد حتى الآن ما إذا كان هذا النطاق واسع الاستعمال لمراقبة حركة الطيران أو مستعمل فقط لمراقبة المطارات (مراقبة هبوط الطائرات) أو مراقبة الطرق الجوية أو الاثنين معاً. ربما أن معظم رادارات مراقبة الطرق الجوية لها مدى أطول من مدى رادارات مراقبة المطارات وتعمل عادة في نطاق الترددات 215 1-400 1 MHz، فيرجح أن تكون رادارات الملاحة الراديوية للطيران العاملة في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz مستعملة بشكل رئيسي لمراقبة المطارات أو لمراقبة هبوط الطائرات. ويبدو أن نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz غير مستعمل لمراقبة حركة الطيران المدني إلا في حالة تشبع نطاق الترددات 700 2-900 2 MHz بهذه الرادارات. وتدل جميع البيانات التقنية الحديثة التي يوفرها مصنعو رادارات مراقبة حركة الطيران المدني في نطاق الترددات 3,4-2,3 GHz على أن مقدرتها على التوليف مُنحصر على نطاق الترددات 700 2-900 2 MHz. ويمكن افتراض أن الرادارات المستعملة لأغراض الملاحة الراديوية للطيران في نطاق الترددات 900 2-100 3 MHz تشبه رادارات التحديد الراديوي للموقع الموصوفة هنا. ويتوقع بالحقيقة أن تكون هذه الرادارات ثلاثية الأبعاد بدلاً من ثنائية البعد مع العلم أن هذه الأخيرة محجوزة لمراقبة حركة الطيران المدني في نطاق الترددات 700 2-900 2 MHz. وبما أن بعض الرادارات العاملة في نطاق 900 2-100 3 MHz قد تكون مشابهة للرادارات العاملة في النطاق 700 2-900 2 MHz، فإن خصائصها ترد في التوصية ITU-R M.1464-1. أما الاستعمال الخاص للنطاق 900 2-100 3 MHz لأغراض الملاحة الراديوية للطيران فهو بصدد التقويم.

7 الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الأرصاد الجوية في النطاق 900 2-100 3 MHz

ترد الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الأرصاد الجوية العاملة في النطاق 3,4-2,3 GHz في التوصية ITU-R M.1464. وتعمل هذه الرادارات بشكل رئيسي في النطاق 700 2-900 2 MHz. وتعمل المحطات المشغَّلة في هذا النطاق بطريقة متوائمة مع رادارات أخرى في نفس النطاق ولكن بسبب تشبع هذا النطاق فإن بعض هذه الرادارات تعمل أيضاً في النطاق 900 2-100 3 MHz في بعض البلدان.

ويستعمل هذا النمط من الرادارات تكنولوجيا رادار دوبلر في كشف ظواهر الأرصاد الجوية الخطيرة كالأعاصير والعواصف العنيفة وفي حساب سرعتها واتجاه حركاتها. ويتيح أيضاً إجراء قياسات كمية الهطول في منطقة معينة وهو أمر هام للتنبؤ باحتمال الفيضانات. وتسهم الإمكانيات التي يوفرها هذا الرادار لكشف الظواهر الجوية الخطيرة وحساب تحركاتها في زيادة دقة وسرعة خدمات الإنذار. ويكشف هذا الرادار جيداً الظواهر الجوية الخطيرة بالنسبة إلى الحياة البشرية والممتلكات، ويتيح فعلاً كشف الرياح الخطيرة بشكل مبكر وتقدير حجم الهطول، الأمر الذي يفيد في التنبؤ بفيض الأنهار والفيضانات.

وتشكل هذه الرادارات شبكة متكاملة تغطي كامل أراضي الولايات المتحدة الأمريكية وجزيرة غوام وبورتوريكو واليابان وكوريا الجنوبية والصين والبرتغال. ويقدم النطاق 700 2-100 3 MHz خصائص ممتازة للأرصاد الجوية والانتشار تتعلق بالتنبؤ بالأحوال الجوية والمقدرة على الإنذار. وينبغي أن تسهم التحسينات التقنية المزمع إدخالها على هذه الرادارات في إطالة عمرها التشغيلي حتى عام 2040.

الملحق 2

معايير الحماية من أجل الرادارات

إن أثر إزالة حساسية رادارات الأرصاد الجوية والاستدلال الراديوي 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 للمستقبل في الرادار كافية للحصول على نتيجة موثوقة نسبياً. وإذا كانت الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء في مستقبل 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 $N_0 + I_0$. 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 المستقبل/المعالج الذي تستعمله المستقبلات 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 الانتثار، 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 أن السلطات البحرية الدولية قد بيّنت، دون تحفظ، في آخر تحديث لاتفاقية المنظمة البحرية الدولية (IMO) لحماية الحياة البشرية في البحر (SOLAS)، 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 المُدرجة 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 النطاق 2 900-3 100 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 (OFDM) 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 1-3. 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 (CFAR) 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 1-3. 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.

الجـــدول 5

الرادار A: معلمات المرسِل والمستقبِل

المعلمة	القيمة			
عرض حزمة الهوائي الأفقية (بالدرجات)	1,9			
التردد (MHz)	30 ± 3 050			
قدرة النبضة (kW)	30			
المدى (nmi)	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)	غير معروف			
معدل مسح الهوائي (r.p.m)	26			
زمن مسح الهوائي (s)	2,31			
عرض حزمة الهوائي الرأسية (بالدرجات)	22			
الاستقطاب	أفقي			

N.A: غير مسموح.

الجـــدول 6

الرادار B: معلمات المرسِل والمستقبِل

المعلمة	القيمة			
التردد (MHz)	10 ± 3 050			
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 التردد الوسيط (IF) (MHz)	22	22	6	6
رفض الاستجابة الهامشية (dB)	غير معروف			
رقم ضوضاء النظام (dB)	5,5			
عرض نطاق التردد الراديوي (MHz)	غير معروف			
معدل مسح الهوائي (r.p.m)	24/48			
عرض حزمة الهوائي الأفقية (بالدرجات)	2,8			
عرض حزمة الهوائي الرأسية (بالدرجات)	2,8			
الاستقطاب	أفقي			

N.A: غير مسموح.

الجـــدول 7

الرادار C: معلمات المرسِل والمستقبِل

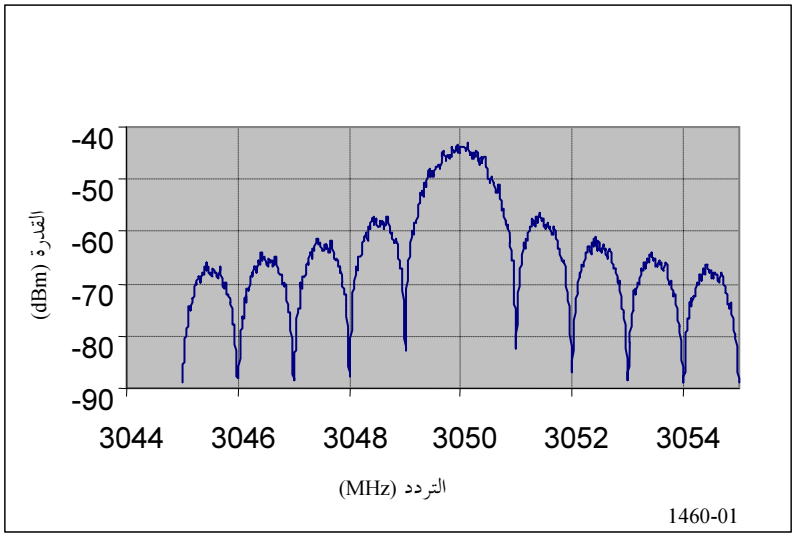
المعلمة	القيمة		
التردد (MHz)	10 ± 3 050		
قدرة النبضة (kW)	30		
المدى (nmi)	3-0,125	24-6	96-48
عرض النبضة (µs)	0,050	0,25	0,80
تردد تكرار النبضة (PRF) (Hz)	1 800		78,5
عرض نطاق التردد الوسيط (IF) (MHz)	20	20	3
رفض الاستجابة الهامشية (dB)	غير معروف		
رقم ضوضاء النظام (dB)	4		
عرض نطاق التردد الراديوي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

N.A: غير مسموح.

الشـــكل 1

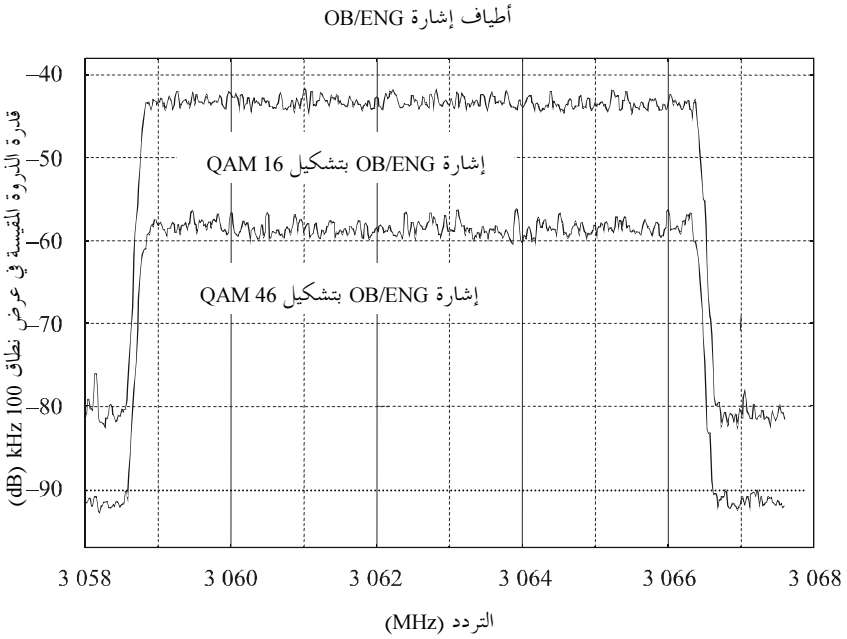
أطياف إرسال إشارة QPSK الموجية

إشارة QPSK بمقدار 2 Mbit/s



الشـــكل 2

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

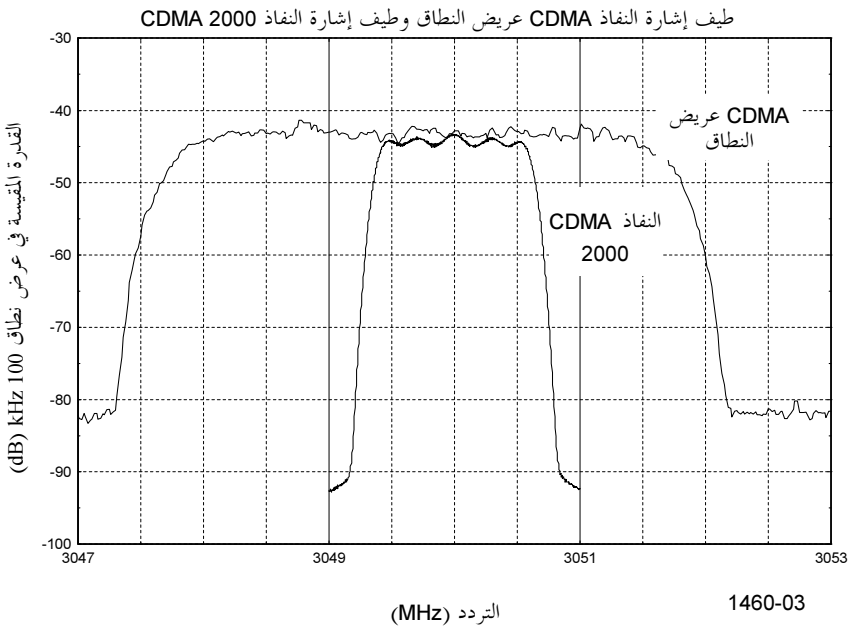


ملاحظة – منحنيات الطيف متخالفة في الاتساع لوضوح الرسم.

1460-02

الشـــكل 3

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



1460-03

4 توليد هدف غير متقلب

استخدمت مجموعة من مولدات الإشارات الموجية العشوائية (AWG)، 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.

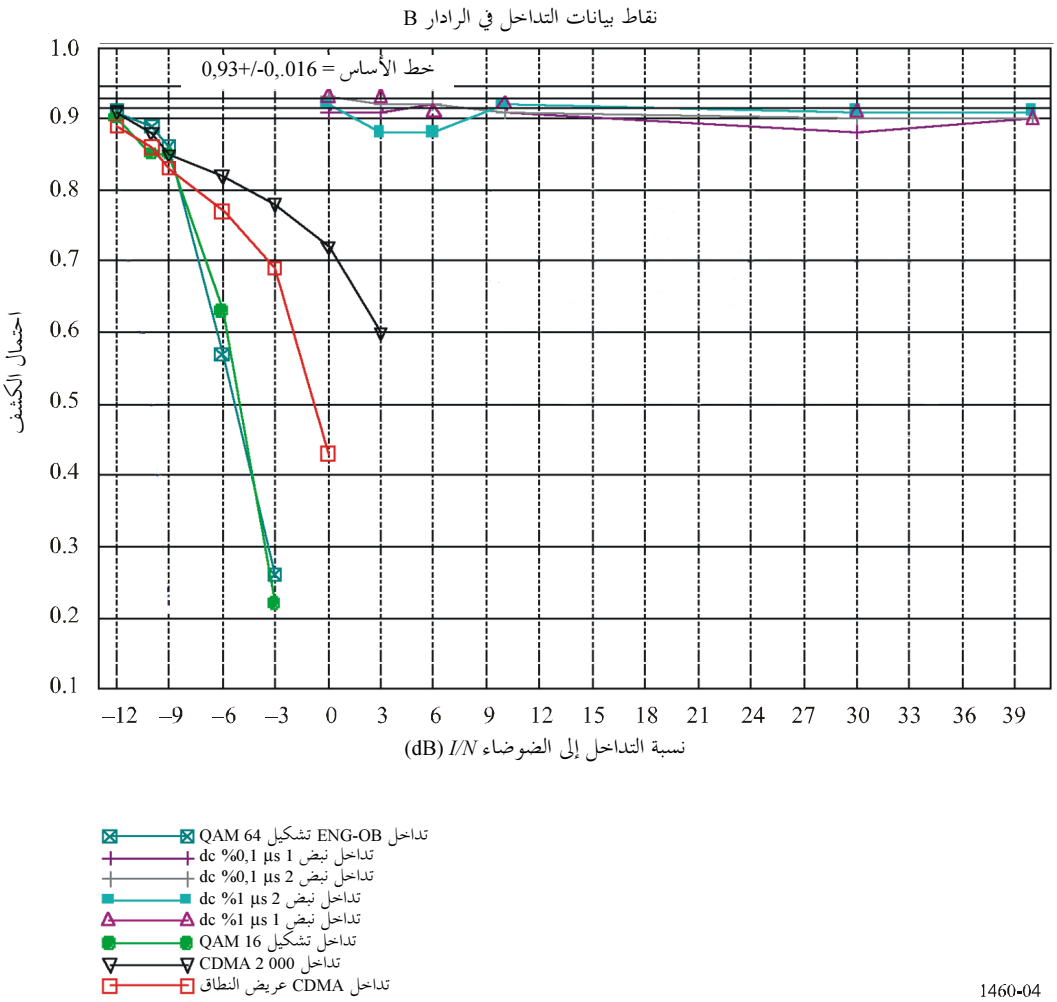
2.5 الرادار B

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.

الشـــكل 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 مستقبل الرادار. فقد تسبب التداخل في خبو جميع الأهداف بنفس المعدل مهما كان موقعها في صفيفة الأهداف. و لم يكن من الممكَن 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 3,0 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.

الجـــدول 8

الرادار C متعرّضاً لتداخل مستمر من التجميع الإلكتروني للأخبار (ENG) ومن 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

الجـــدول 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.

الجـــدول 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 النطاق 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 النطاق 900 2-100 3 MHz.

وينبغي للسلطات التي ترغب القيام بدراسات تقاسم، بهدف احتمال التقاسم في النطاقات 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. فإذا ما أُجريت اختبارات على أساس أهداف متقلّبة فإنها سوف تتمخّض على الأغلب عن نتائج مختلفة.

_____