الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R
قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R M. 1464-2
(2015/02)

خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع التي لا تخص الأرصاد الجوية وخصائص ومعايير الحماية لدراسات التشارُك لرادارات الملاحة الراديوية للطيران العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي في النطاق الترددي MHz 2 900-2 700

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
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

ملاحظة: *تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2016

© ITU 2016

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

التوصية ITU-R M.1464-2

خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع التي لا تخص الأرصاد الجوية وخصائص ومعايير الحماية لدراسات التشارُك لرادارات الملاحة الراديوية للطيران العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي في النطاق الترددي MHz 2 900-2 700

(2015-2003-2000)

مجال التطبيق

ينبغي أن تستخدم هذه التوصية لأداء التحاليل بين الأنظمة العاملة في خدمة الاستدلال الراديوي والأنظمة العاملة في الخدمات الأخرى. وينبغي ألا تستخدم لتحاليل رادار لرادار.

مصطلحات أساسية

للطيران، الملاحة الراديوية، معايير الحماية، خصائص

المختصرات/الأسماء المختصرة

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

ATC مراقبة الحركة الجوية *(Air traffic control)*

CFAR معدل الإنذارات الكاذبة الثابت *(Constant-false-alarm-rate)*

CPIs فواصل المعالجة المتماسكة *(Coherent processing intervals)*

CW موجة مستمرة *(Continuous wave)*

MLT عتبة متوسط المستوى *(Mean level threshold)*

PESA صفيف منفعل إلكتروني المسح *(Passive electronically scanned array)*

PPS نبضات في الثانية *(Pulses per second)*

PRF تردد تكرار النبضة *(Pulse repetition frequency)*

QPSK تشكيل متعامد بزحزحة الطور *(Quadrature phase shift keying)*

STC التحكم الزمني في الحساسية *(Sensitivity time control)*

TDMA نفاذ متعدد بتقسيم الزمن *(Time division multiple access)*

TWT صمام الموجة المتنقلة *(Travelling wave tube)*

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن خصائص الهوائي وانتشار الإشارة وكشف الأهداف وعرض النطاق الترددي الكبير اللازم التي تتيح للرادارات القيام بوظائفها هي الأمثل في بعض النطاقات الترددية؛

ب) أن الخصائص التقنية لرادارات الملاحة الراديوية للطيران التي لا تخص الأرصاد الجوية تحددها أهداف النظام وتتغير تغيراً كبيراً حتى داخل النطاق الترددي الواحد؛

ج) أن خدمة الملاحة الراديوية هي خدمة في مجال السلامة بالمعنى الذي يرد في الرقم **10.4** من لوائح الراديو (RR) ولا يجوز التسامح بأي تداخل ضار بها؛

د) أن جزءاً كبيراً من توزيعات الطيف على خدمتي التحديد الراديوي للموقع والملاحة الراديوية (يبلغ نحو 1 GHz) قد سحب من هاتين الخدمتين أو خفض وضعه القانوني منذ انعقاد المؤتمر الإداري العالمي للراديو لعام 1979؛

هـ) أن بعض الأفرقة التقنية في قطاع الاتصالات الراديوية تنظر في إمكانية إدخال أنواع جديدة من الأنظمة (مثل نظام النفاذ اللاسلكي الثابت والنظامين الثابت والمتنقل بكثافة عالية) أو الخدمات في النطاقات المحصورة بين 420 MHz و34 GHz المستخدمة في رادارات الملاحة الراديوية ورادارات التحديد الراديوي للموقع ورادارات الأرصاد الجوية؛

و) أن الخصائص التقنية والتشغيلية النموذجية لرادارات التحديد الراديوي للموقع ورادارات الملاحة الراديوية ورادارات الأرصاد الجوية مطلوبة لتحديد جدوى إدخال أنواع جديدة من الأنظمة في النطاقات الترددية التي تستعمل فيها هذه الرادارات؛

ز) أن الحاجة تدعو لإجراءات ومنهجيات من أجل تحليل التوافق بين رادارات الملاحة الراديوية والأرصاد الجوية والأنظمة في الخدمات الأخرى؛

ح) أن الرادارات المقامة على سطح الأرض المستعملة لأغراض الأرصاد الجوية يُرخص لها بالعمل في هذا النطاق على أساس التساوي مع محطات خدمة الملاحة الراديوية للطيران (ARNS) (انظر الرقم **423.5** من لوائح الراديو)؛

ط) أن التوصية ITU-R M.1849 تتضمن جوانب تقنية وتشغيلية لرادارات الأرصاد الجوية المنصوبة على الأرض وأن بالمستطاع استخدامها كخط توجيهي في تحليل التشارُك والتوافق بين رادارات الأرصاد الجوية المنصوبة على الأرض وأنظمة في خدمات أخرى؛

ي) أن الرادارات في هذا النطاق تُستخدم للترصد في المدارج الجوية وهي خدمة سلامة حرجة في المدارج الجوية، تتيح توجيه تجنب التصادم للطائرات أثناء الاقتراب والهبوط. والسلطات التنظيمية للطيران تضمن السلامة وتحافظ عليها وتفرض معايير إلزامية للحد الأدنى من تردي الأداء والخدمة،

وإذ تدرك

1 أن معايير حماية الرادارات تعتمد على أنماط محددة من الإشارات المسببة للتداخل، مثل تلك الموصوفة في الملحقين 2 و3؛

2 أن تطبيق معايير الحماية يحتاج إلى النظر في مراعاة الطبيعة الإحصائية للمعايير وعناصر المنهجية الأخرى من أجل إجراء دراسات التوافق (مثل مسح الهوائي وخسارة مسير الانتشار). ويمكن إدخال المزيد من التطورات التي تلحق بهذه الاعتبارات الإحصائية ضمن النسخ المقبلة لهذه التوصية، حسب الاقتضاء،

توصي

1 بأن تعتبر الخصائص التقنية والتشغيلية لرادارات الملاحة الراديوية للطيران الواردة في الملحق 1 خصائص مميزة للأنظمة العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz؛

2 بأن تستعمل التوصية ITU-R M.1461 كمبدأ توجيهي في تحليل التوافق لرادارات الملاحة الراديوية للطيران والأرصاد الجوية مع أنظمة الخدمات الأخرى؛

3 بأن يستند مستوى إعمال حماية رادارات الملاحة الراديوية للطيران إلى الملحق 2، وتحديداً في الفقرة 4، من أجل تقييم التوافق مع أنماط الإشارات المسببة للتداخل الصادرة عن الخدمات الأخرى التي تمثل تلك الواردة في الملحق 2. وتمثل معايير الحماية تلك مستوى الحماية الكلي في حال وجود مصادر تداخل متعددة.

الملاحظة 1 – ستراجَع هذه التوصية متى تيسرت معلومات أكثر تفصيلاً.

الملحق 1

خصائص رادارات الملاحة الراديوية للطيران ورادارات التحديد الراديوي للموقع التي لا تخص الأرصاد الجوية

1 مقدمة

أن النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz موزع على أساس أولي لخدمة الملاحة الراديوية للطيران وعلى أساس ثانوي لخدمة التحديد الراديوي للموقع. وتخوَّل الرادارات المقامة على سطح الأرض المستعملة لأغراض الأرصاد الجوية بالعمل في هذا النطاق على أساس التساوي مع محطات خدمة الملاحة الراديوية للطيران (انظر الرقم **423.5** من لوائح الراديو). والنطاق الترددي 900 2-100 3 MHz موزع على أساس أولي لخدمتي الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للموقع. والنطاق الترددي 100 3-400 3 MHz موزع على أساس أولي

وتُستعمل رادارات الملاحة الراديوية للطيران لمراقبة الحركة الجوية (ATC) في المطارات ولأداء خدمة سلامة (انظر الرقم **10.4** من لوائح الراديو). وتدل المؤشرات على أن هذا النطاق الترددي هو السائد في رادارات ترصد الاقتراب من المحطة/المطار لحركة الطيران المدني في جميع أنحاء العالم.

2 الخصائص التقنية

يستعمل النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz من قبل عدة أنماط مختلفة من رادارات ثابتة على الأرض ورادارات على منصات تنقل. وتضم الوظائف التي تنفذها الأنظمة الرادارية في النطاق الترددي هذا وظيفتي مراقبة الحركة ورصد الطقس. ويفترض أن تتوزع ترددات التشغيل لهذه الرادارات بشكل منتظم في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz. وتستخدم معظم الأنظمة أكثر من تردد واحد لتحقيق فوائد التنوع الترددي. ويشيع كثيراً استخدام ترددين، وليس من غير المعروف استخدام أربعة. ويحتوي الجدول 1 على الخصائص التقنية المميزة لرادارات الملاحة الراديوية للطيران العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz. وتعتبر هذه المعلومات كافية عموماً لإجراء حسابات عامة لتقييم التوافق بين هذه الرادارات وأنظمة أخرى.

1.2 المرسلات

تستعمل الرادارات العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz النبضات بالموجات المستمرة (CW) وبالتشكيل الترددي (المزقزق). وتستعمل أجهزة خرج متقاطعة المجالات وبحزمة خطية وبأشباه الموصلات في المراحل الأخيرة من المرسلات. وتتجه الأنظمة الرادارية الجديدة الآن إلى استخدام أجهزة خرج بالحزمة الخطية وبأشباه الموصلات بسبب متطلبات معالجة الإشارة الدوبلرية. كما أن الرادارات التي تستعمل أجهزة خرج بشبه موصل لها قدرة خرج ذروة في المرسل أضعف ودورة تشغيل نبضية أعلى تصل إلى 10%. وثمة اتجاه أيضاً يميل نحو استعمال أنظمة رادارات الملاحة الراديوية للتنوع الترددي.

وتقع عروض النطاق الترددي النمطية للإرسالات RF للرادارات العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz بين 66 kHz و6 MHz. وتتراوح القدرة الذروة لخرج المرسلات بين 22 kW (73,4 dBm) بالنسبة إلى مرسلات أشباه الموصلات و70 kW (78,5 dBm) بالنسبة إلى الأنظمة العاملة بصمام الموجة المتنقلة (TWT) و1,4 MW (91,5 dBm) بالنسبة إلى رادارات القدرة العالية التي تستعمل الكلايسترون.

وفي أنظمة ذروة القدرة العالية، يوجد عادة مرسل واحد لكل تردد وتميل مراحل الخرج في هذه الأنظمة إلى أن تكون ضيقة النطاق. أما أنظمة ذروة القدرة الأدنى التي تستخدم صمامات الموجة المتنقلة أو أشباه الموصلات فهي مزودة بمرسل واحد قادر على تشغيل متعدد الترددات. وبالتالي فإن مراحل الخرج فيها واسعة النطاق وقادرة على استخدام متعدد الترددات.

الجدول 1

خصائص رادارات الملاحة الراديوية للطيران في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz

الخصائص	الوحدات	رادار A	رادار B	رادار C	رادار D	رادار E	رادار F
نمط المنصة (محمولة في الجو، محمولة على متن سفينة، أرضية)		أرضي، ATC					
مدى التوليف (MHz)	MHz	700 2-900 2[1]					
التشكيل		P0N		Q3N ،P0N	P0N	Q3N ،P0N	Q3N ،P0N
قدرة المرسل إلى الهوائي (kW)[2]	kW	1 400	1 320	25	450	22	70
عرض النبضة	µs	0,6	1,03	1,0، 89[3]	1,0	1,0، 55,0	0,4، 20 0,5، 27[4]
مدة صعود/ هبوط النبضة	µs	0,2-0,15		0,5/0,32 (نبضة قصيرة) 1/0,7 (نبضة طويلة)			0,1 (عادةً)
معدل تكرار النبضة	نبضة في الثانية	973-1 040 (يمكن اختياره)	059 1-172 1	722-935 (نبضة قصيرة) 788-050 1 (نبضة كبيرة)	1 050	8 مجموعات، من 031 1 حتى 080 1	100 1 840[3]
دورة التشغيل	%	0,07 بالحد الأقصى	0,14 بالحد الأقصى	9,34 بالحد الأقصى	0,1 بالحد الأقصى		2 (عادةً)
عرض نطاق الزقزقة	MHz	غير مطبق		2	غير مطبق	1,3 غير خطي FM	2
عرض النبضة الفرعية بتشفير الطور		غير مطبق					
نسبة الانضغاط		غير مطبق		89	غير مطبق	55	1:40 1:55
عرض نطاق الإرسال RF: عند –20 dB عند 3 dB	MHz	6	5 0,6	2,6 (نبضة قصيرة) 5,6 (نبضة طويلة) 1,9			3 (نمط القيمة) 2
جهاز الخرج		كليسترون		ترانزيستورات من أشباه الموصلات، الصنف C	ماغنترون	ترانزيستورات من أشباه الموصلات، الصنف C	TWT
نمط المخطط الإشعاعي للهوائي (أنبوبي، مروحة، مربع قاطع تمام الزاوية، إلخ)	بالدرجات	مربع قاطع تمام الزاوية +30		مربع قاطع تمام الزاوية 6 إلى +30			مربع قاطع تمام الزاوية المعزز حتى +40
نمط الهوائي (عاكس، صفيف مرتب الأطوار، صفيف مشقوق، إلخ)		عاكس مكافئي					
استقطاب الهوائي		استقطاب رأسي أو دائري يساري	استقطاب رأسي أو دائري يميني	دائري أو خطي	استقطاب رأسي أو دائري يساري	استقطاب رأسي أو دائري يميني	دائري أو خطي

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار A	رادار B	رادار C	رادار D	رادار E	رادار F
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي	dBi	33,5		34	32,8	34,3 لحزمة منخفضة 33 لحزمة مرتفعة	33,5
عرض حزمة الهوائي في اتجاه الارتفاع	بالدرجات	4,8			4	4,8	5,0
عرض حزمة الهوائي في اتجاه السمت	بالدرجات	1,35	1,3	1,45	1,6	1,4	1,5
معدل المسح الأفقي للهوائي	بالدرجات/ثانية	75			90	75	90 (4)60
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)		^{0}360					
معدل المسح الرأسي للهوائي	بالدرجات/ثانية	غير مطبق					
نمط المسح الرأسي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)	بالدرجات	غير مطبق		2,5+ إلى –2,5	غير مطبق	غير مطبق	غير مطبق
مستويات الفصوص الجانبية للهوائي (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة)	dBi		7,3+	9,5+ 3,5			7,5+ 0 إلى –3 dBi
ارتفاع الهوائي	m	8					24-8
عرض نطاق المستقبل IF عند 3 dB	MHz	13	0,7	1,1		1,2	4
معامل ضوضاء المستقبل	dB	4,0 بالحد الأقصى		3,3	2,7	2,1	2,0
الحد الأدنى للإشارة المكتشفة	dBm	110–	108–	110–	112–		110– عادةً
نقطة ضغط الكسب الأمامية للمستقبل عند 1 dB	dBm	4–	6–	14–			10–
مستوى تشبع المستقبل عند التوليف	dBm		45–				
عرض نطاق المستقبل RF عند 3 dB	MHz	13	12	345			400[1]
مستويات تشبع المستقبل RF وIF وأزمنة الاستعادة							
عرض نطاق الترشيح الدوبلري	Hz		95 لكل حاوية				
خصائص نبذ التداخل[5]		معزز التغذية الراجعة	[6]				
التوزيع الجغرافي		في جميع أنحاء العالم					
الفترة الزمنية للاستعمال		100					

الجدول 1 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار F1	رادار F2
نمط المنصة (محمولة في الجو، محمولة على متن سفينة، أرضية)		أرضي، ATC	أرضي، ATC
مدى التوليف	MHz	2 900-2 700 [7]	2 900-2 700 [7]
التشكيل		P0N، Q3N	P0N، Q3N
قدرة المرسل إلى الهوائي [2]		kW 40	kW 160
عرض النبضة (µs)	µs	(SP) 1,0 (LP) 60,0	(SP) 1,0 (LP) 250,0 ≥
مدة صعود/هبوط النبضة (µs)	µs	(SP) 0,2 و(LP) 3	(SP) 0,2 و(LP) 3
معدل تكرار النبضة	نبضة في الثانية	(SP) 6 100-320 (LP) 1 300-320 [8]	(SP) 4 300-320 (LP) 1 500-320 [8]
دورة التشغيل	%	(SP) 0,6-[9]0,2 (LP) [10]12,0 ≥	(SP) 0,4-[9]0,2 (LP) [10]12,0 ≥
عرض نطاق الزقزقة	MHz	3	3
عرض النبضة الفرعية بتشفير الطور		غير مطبق	غير مطبق
نسبة الانضغاط		180	750 ≥
عرض نطاق الإرسال RF: عند –20 dB عند –3 dB	MHz	(LP) 5,0 / (SP) 3,2 (LP) 1,2 / (SP) 0,6 [11]	(LP) 5,0 / (SP) 3,2 (LP) 1,2 / (SP) 0,6 [11]
جهاز الخرج		من أشباه الموصلات	من أشباه الموصلات
نمط المخطط الإشعاعي للهوائي (أنبوبي، مروحة، مربع قاطع تمام الزاوية، إلخ)	بالدرجات	تغطية حزمة أنبوبية حتى 70 000 قدم	تغطية حزمة أنبوبية حتى 100 000 قدم
نمط الهوائي (عاكس، صفيف مرتب الأطوار، صفيف مشقوق، إلخ)		صفيف مرتب الأطوار، 4 وجوه (صفيف مرتب الأطوار بقُطر طوله 4 أمتار في كل وجه)	صفيف مرتب الأطوار، 4 وجوه (صفيف مرتب الأطوار بقُطر طوله 8 أمتار في كل وجه)
استقطاب الهوائي		خطي أفقي ورأسي، دائري	خطي أفقي ورأسي، دائري
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي	dBi	41	46
عرض حزمة الهوائي في اتجاه الارتفاع	بالدرجات	2,7-1,6	1,5-0,9
عرض حزمة الهوائي في اتجاه السمت	بالدرجات	2,7-1,6	1,4-0,9
معدل المسح الأفقي للهوائي	بالدرجات/ثانية	غير مطبق	غير مطبق
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)		غير منتظم حتى يغطي 360 درجة	غير منتظم حتى يغطي 360 درجة
معدل المسح الرأسي للهوائي	بالدرجات/ثانية	غير مطبق	غير مطبق
نمط المسح الرأسي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)	بالدرجات	غير منتظم حتى يغطي الحجم المطلوب	غير منتظم حتى يغطي الحجم المطلوب
مستويات الفصوص الجانبية للهوائي (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة)		17 عند الإرسال، 25 عند الاستقبال	17 عند الإرسال، 25 عند الاستقبال

الجدول 1 (*تتمة*)

الخصائص	الوحدات	رادار F1	رادار F2
ارتفاع الهوائي	m	متغير	متغير
عرض نطاق المستقبل IF عند 3 dB	MHz	1,2 عند – 6 dB (SP) 1,8 عند – 6 dB (LP)	1,2 عند – 6 dB (SP) 1,6 عند – 6 dB (LP)
معامل ضوضاء المستقبل	dB	6 >	6 >
الحد الأدنى للإشارة المكتشفة	dBm/MHz	110–	110–
نقطة ضغط الكسب الأمامية للمستقبل عند 1 dB	dBm	10	10
مستوى تشبع المستقبل عند التوليف	dBm	غير مطبق	غير مطبق
عرض نطاق المستقبل RF عند 3 dB	MHz	200	300
مستويات تشبع المستقبل RF وIF وأزمنة الاستعادة		13, dBm > 500 ns	13, dBm > 500 ns
عرض نطاق الترشيح الدوبلري	Hz		
الفترة الزمنية للاستعمال	%	100	100

(1) تعمل بعضها في المدى الترددي 700 2-100 3 MHz ويتطلب العديد من هذه الأنظمة أكثر من تردد واحد للموجة الحاملة في مدى التوليف كي تعمل بشكل صحيح.

(2) تعمل الأنظمة الثابتة بقدرة تصل إلى 750 kW أو 1 MW.

(3) يستخدم هذا الرادار موجتين حاملتين أساسيتين بحد أدنى للفصل يبلغ 30 MHz.

(4) حسب المدى.

(5) يمثل ما يلي الميزات الموجودة في معظم أنظمة الرادار كجزء من وظيفتها الطبيعية: التحكم الزمني في الحساسية (STC)، ومعدل الإنذارات الكاذبة الثابت (CFAR) ونبذ النبض غير المتزامن وإزالة النبض المسبب للتشبع.

(6) يمثل ما يلي الميزات المتوفرة في بعض أنظمة الرادار: ترددات تكرار النبضة (PRF) التي يمكن اختيارها، اصطفاء دوبلري.

(7) مدى التوليف 2,7-3,0 GHz عند الاستعاضة عن رادار الأرصاد الجوية بنظام متعدد الأغراض ينفذ وظائف الملاحة الراديوية للطيران والأرصاد الجوية معاً. وترد في التوصية ITU-R M.1849 خصائص التشغيل للأرصاد الجوية ومعايير حمايته.

(8) لا تُستخدم ترددات تكرار النبضة (PRF) العالية جداً إلا في زوايا الارتفاع العالية.

(9) دورة التشغيل لنبضة قصيرة هي 0,2% عند المسح في أدنى ارتفاع (الأفق).

(10) تطابَق توليفة عرض النبضة وتردد تكرار النبضة لإبقاء دورة التشغيل ما دون 12%.

(11) عرض نطاق البث بالترددات الراديوية عند –6/–40 dB: 10,4/1,3 MHz للنبضة القصيرة؛ 6,2/2,0 MHz للنبضة الطويلة.

الجدول 2

خصائص رادارات التحديد الراديوي للموقع في النطاق الترددي 700 2-400 3 MHz

الخصائص	الوحدات	رادار I	رادار J	رادار K	رادار L	رادار M
نوع المنصة (محمولة جواً، محمولة على سفينة، على البر)		أرضي، ATC، مالئ فجوة، ساحلي	ترصد للبحرية 3D/2D، دفاع جوي أرضي	دفاع جوي أرضي	أنماط متنوعة متعددة الوظائف	محمول على متن سفينة، أرضي
مدى التوليف	MHz	700 2-400 3	700 2-100 3	700 2 إلى 100 3 900 2 إلى 400 3	كامل النطاق الترددي بما يصل إلى 25% من عرض النطاق	700 2-400 3

الجدول 2 (*تابع*)

الخصائص	الوحدات	رادار I	رادار J	رادار K	رادار L	رادار M
الترددات التشغيلية الدنيا/القصوى		الحد الأدنى: 2 بتباعد < 10 MHz الحد الأقصى: متبدل الترددات تماماً	الحد الأدنى: 2 بتباعد < 10 MHz الحد الأقصى: متبدل الترددات تماماً	الحد الأدنى: تردد ثابت الحد الأقصى: متبدل الترددات تماماً	الحد الأدنى: 2 بتباعد < 10 MHz الحد الأقصى: متبدل الترددات تماماً	الحد الأدنى: 2 بتباعد < 10 MHz الحد الأقصى: متبدل الترددات تماماً
التشكيل		FM غير خطي P0N، Q3N	FM غير خطي P0N، Q3N	FM غير خطي Q3N	مختلط	P0N، Q3N
قدرة الإرسال إلى الهوائي	kW	60 عادةً	60 إلى 200	1 000 عادةً	30 إلى 100	60 إلى 1000
عرض النبضة	µs	0,4[1] إلى 40	0,1[1] إلى 200	< 100	حتى 2	0,1 إلى 1 000
وقت صعود/هبوط النبضة	µs	10 إلى 30 عادةً	10 إلى 30 عادةً	غير معطى	غير معطى	< 50 1,00-0,05[6]
معدل تكرار النبضات	pps	550 إلى 1 100 Hz	300 Hz إلى 10 kHz	< 300 Hz	حتى 20 kHz	300 Hz إلى 10 kHz
دورة التشغيل	%	2,5 كحد أقصى	10 كحد أقصى	حتى 3	30 كحد أقصى	20 كحد أقصى
عرض نطاق الزقزقة	MHz	2,5	حتى 10	< 100	حسب التشكيل	حتى 20
نسبة الانضغاط		حتى 100	حتى 300	غير مطبقة	غير معطاة	حتى 20 000
عرض نطاق الإرسال RF: عند –20 dB عند –3 dB	MHz	3,5 2,5	15 10	< 100	غير معطى	25
جهاز الخرج		TWT	TWT أو من أشباه الموصلات	كليسترون CFA	عناصر نشطة	من أشباه الموصلات
نمط المخطط الإشعاعي للهوائي (أنبوبي، مروحة، مربع قاطع تمام الزاوية، إلخ)		مربع قاطع تمام الزاوية	حزمة أنبوبية 3D أو مربع قاطع تمام الزاوية 2D	حزمة أنبوبية مكنوسة	حزمة أنبوبية	حزمة أنبوبية 3D أو مربع قاطع تمام الزاوية 2D
نمط الهوائي (عاكس، صفيف مرتب الأطوار، صفيف مشقوق، إلخ)		على شكل عاكس	صفيف مسطح أو على شكل عاكس	صفيف مسطح أو عاكس ممسوح ترددياً	صفيف نشط	صفيف نشط
عرض حزمة الهوائي في اتجاه السمت	بالدرجات	1,5	1,1 إلى 2	1,2 عادةً	حسب عدد العناصر	حسب عدد العناصر، ويتراوح عادة بين 1,1 و5
استقطاب الهوائي		خطي أو دائري أو مبدل	خطي أو دائري أو مبدل	خطي ثابت أو دائري	خطي ثابت	مختلط
كسب الحزمة الرئيسية للهوائي	dBi	33,5 عادةً	حتى 40	< 40	حتى 43	حتى 40
عرض حزمة الهوائي في اتجاه الارتفاع	بالدرجات	4,8	1,5 إلى 30	1 عادةً	حسب عدد العناصر	حسب عدد العناصر، ويتراوح عادة بين 1 و30
معدل المسح الأفقي للهوائي	بالدرجات/ثانية	45 إلى 90	30 إلى 180	36 عادةً	دوران المسح القطاعي الآني تمسح ما يصل إلى 360	30 إلى 360
نمط المسح الأفقي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)	بالدرجات	مستمر 360	مستمر 360 + مسح قطاعي	مستمر 360 + مسح قطاعي	مسح قطاعي عشوائي مسح قطاعي + دوران	مستمر 360 + مسح قطاعي + مسح قطاعي عشوائي
معدل المسح الرأسي للهوائي	بالدرجات/ثانية	غير مطبق	آني	آني	آني	آني

الجدول 2 (*تتمة*)

الخصائص	الوحدات	رادار I	رادار J	رادار K	رادار L	رادار M
نمط المسح الرأسي للهوائي (مستمر، عشوائي، 360 درجة، قطاعي، إلخ)	بالدرجات	غير مطبق	0 إلى 45	0 إلى 30	0 إلى 90	0 إلى 90
مستويات الفصوص الجانبية للهوائي (الفصوص الجانبية الأولى والفصوص الجانبية البعيدة)	dB dBi	26 35	32 < عادةً 10– >	26 < عادةً 0 >	غير معطاة	32 < عادةً 10– >
ارتفاع الهوائي فوق الأرض	m	4 إلى 30	4 إلى 20	5	4 إلى 20	4 إلى 50
عرض نطاق المستقبل IF عند dB 3	MHz	1,5 نبضة طويلة 3,5 نبضة قصيرة	10	غير معطى	غير معطى	30-10
معامل ضوضاء المستقبل	dB	2 بالحد الأقصى	1,5 بالحد الأقصى	غير معطى	غير معطى	1,5 بالحد الأقصى
الحد الأدنى للإشارة المكتشفة	dBm	123– 104– نبضة قصيرة	غير معطى	غير معطى	غير معطى	غير معطى
نقطة ضغط الكسب الأمامية للمستقبل عند dB 1 كثافة القدرة عند الهوائي	W/m^2	$1,5 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}	1×10^{-6}	1×10^{-3}	5×10^{-5}
مستوى تشبع المستقبل عند التوليف كثافة القدرة عند الهوائي	W/m^2	$4,0 \times 10^{-10}$	1×10^{-10}	غير معطى	غير معطى	1×10^{-10}
عرض نطاق المستقبل IF عند dB 3	MHz	400	400	150 إلى 500	ما يصل إلى كامل النطاق الترددي	400
مستويات تشبع المستقبل RF وIF وأزمنة الاستعادة		غير معطاة	غير معطاة	غير معطاة	غير معطاة	غير معطاة
عرض نطاق الترشيح الدوبلري (Hz)		غير معطى	غير معطى	غير معطى	غير معطى	غير معطى
خصائص نبذ التداخل		(4)	(4) و(5)	(4) و(5)	القولبة التكيفية للحزمة (4) و(5)	غير معطاة
التوزيع الجغرافي		موقع ثابت وقابل للنقل في كل أنحاء العالم	موقع ثابت وقابل للنقل بالسفن البحرية في كل أنحاء العالم	موقع ثابت وقابل للنقل في كل أنحاء العالم	موقع ثابت وقابل للنقل بالسفن البحرية في كل أنحاء العالم	المناطق الساحلية والمقابلة للساحل بحراً موقع ثابت وقابل للنقل في كل أنحاء العالم
الفترة الزمنية للاستعمال (%)	%	100	حسب المهمة	حسب المهمة	حسب المهمة	100

(1) نبضة غير مضغوطة.

(2) بما في ذلك خسائر المغذي.

(3) يمثل ما يلي الميزات الموجودة في معظم أنظمة الرادار كجزء من وظيفتها الطبيعية: التحكم الزمني في الحساسية (STC)، ومعدل الإنذارات الكاذبة الثابت (CFAR) ونبذ النبض غير المتزامن وإزالة النبض المسبب للتشبع.

(4) يمثل ما يلي الميزات المتوفرة في بعض أنظمة الرادار: ترددات تكرار النبضة (PRF) التي يمكن اختيارها، اصطفاء الهدف المتحرك، القفز الترددي.

(5) إلغاء الفص الجانبي، طمس الفص الجانبي.

(6) يقابل وقت الصعود/الهبوط هذا النبضات القصيرة التي يتراوح عرضها بين 0,1 µs و100 µs.

2.2 المستقبلات

تستعمل الأنظمة الرادارية من الجيل الجديد نظام معالجة إشارات رقمية بعد الكشف لمعالجة معطيات القياس عن بُعد والمعطيات السمتية والدوبلرية. وتستعمل أنظمة معالجة الإشارات عادة تقنيات تتيح تحسين كشف الأهداف المطلوبة وعرض رموز الأهداف على الشاشة. وكذلك تتيح التقنيات المستعملة لمعالجة الإشارات فيما يخص إظهار الأهداف المطلوبة وتعرفها إلغاء التداخل بواسطة إشارات ذات دورة تشغيل ضعيفة تقل عن 5%، أي غير متزامنة مع الإشارة المطلوبة.

فضلاً عن ذلك، تتيح معالجة الإشارات، في الجيل الجديد من رادارات مراقبة الحركة الجوية التي تستعمل نبضات مزقزقة، كسباً في معالجة الإشارة المطلوبة وإمكانية إلغاء الإشارات غير المطلوبة.

وتستعمل بعض المرسلات الحديثة بأشباه الموصلات ومنخفضة القدرة نظام معالجة إشارات مع دورة تشغيل مرتفعة ومتعددة المستقبلات من أجل تحسين رجوع الإشارات المطلوبة. وباستطاعة بعض المستقبلات الرادارية أن تتعرف على هوية القنوات RF التي تحتوي على إشارات ضعيفة مسببة للتداخل وأن تلزم المرسلات بالبث على هذه القنوات RF.

وبصفة عامة، تميل أنظمة ذروة القدرة العالية لاستخدام مستقبِل واحد لكل تردد وبالتالي تكون مداخل التردد الراديوي فيها ضيقة النطاق. بينما تميل مداخل التردد الراديوي لأنظمة القدرة الأقل لأن تكون عريضة النطاق وقادرة على استقبال جميع الترددات دون توليف متبوعةً بمستقبلات خفاق فوقي متماسكة. وفي الأنظمة التي تستخدم ضغط النبضة، يطابق عرض نطاق التردد الوسيط النبضة الموسعة ويعمل كمراشيح متطابقة ليكون تردي نسبة الإشارة على الضوضاء (S/N) في حده الأدنى.

3.2 الهوائيات

تُستخدم هوائيات من النوع العاكس المكافئي على الرادارات العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz. وتتميز حزمة هوائي رادارات مراقبة الحركة الجوية بمخطط إشعاعي مربع قاطع تمام الزاوية و/أو مخطط إشعاعي أنبوبي. وبما أن الرادارات العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz، تؤدّي وظائف مراقبة الحركة الجوية والأرصاد الجوية فإن الهوائيات تمسح بزاوية قدرها 360° في المستوي الأفقي. وتستعمل الاستقطابات الأفقية والرأسية والدائرية. ولرادارات الجيل الأحدث المزودة بهوائي من النمط العاكس عدة أبواق. وتستعمل الأبواق المزدوجة عند الإرسال والاستقبال من أجل تحسين كشف الجلبة السطحية. وتستخدم الرادارات ثلاثية الأبعاد هوائيات ذات عاكس ومع حزم مكدسة وبأبواق متعددة. وستخفض الهوائيات متعددة الأبواق مستوى التداخل. وتبلغ ارتفاعات الهوائي النمطية للملاحة الراديوية للطيران ورادارات الأرصاد الجوية 8 m و30 m فوق مستوى سطح الأرض، على التوالي.

ويجري تطبيق شكلين معماريين أساسيين لأنظمة هوائي الصفيف مرتب الأطوار في التطبيقات الأرضية والبحرية. والتكنولوجيتان هما الصفيف المنفعل إلكتروني المسح (PESA) والصفيف النشط إلكتروني المسح (AESA). فتستخدم صفيف صفائف PESA تكنولوجيات المرسل عالي القدرة لتوليد الإشارات المرسلة وتمرَّر هذه الإشارات عبر صفيف PESA أو تنعكس عنه. وفي عملية الإرسال و/أو الانعكاس هذه توجَّه الحزم وتشكَّل لتلبية الاحتياجات التشغيلية على أساس كل إرسال على حدة.

وتتراوح الأوقات النمطية لتريث الحزمة بين عشرات ومئات الميلي ثانية. وضم تكنولوجيات AESA أعداداً كبيرة من مرسلات ذروة القدرة الأدنى في كل عنصر مشع من الصفيف. وتعتمد هذه التكنولوجيا على أجهزة أشباه الموصلات عموماً في مستويات قدرة فردية تتراوح بين بضعة واطات إلى مئات الواطات. وتتمثل النتيجة الإجمالية في مستويات عالية من القدرة المشعة تساهم فيها العناصر الفردية على نحو متماسك في تشكيل الحزم. ولمعظم الصفائف إلكترونية المسح المتنقلة فتحات تتراوح بين أقل من متر واحد مربع و20 متراً مربعاً. وتستخدم معظم هوائيات الصفائف إلكترونية المسح التوجيه الإلكتروني في كل من السمت والارتفاع. وتستخدم فئة فرعية من الصفائف إلكترونية المسح الميكانيكي في مستوي السمت والتوجيه الإلكتروني في الارتفاع. وتنتشر هذه الأنظمة على نطاق واسع في التطبيقات البحرية والأرضية.

3 معايير الحماية

إن أثر تجريد الحساسية رادارات الملاحة الراديوية والأرصاد الجوية الذي ينجم عن الخدمات الأخرى ذات تشكيل الموجة المستمرة أو BPSK أو QPSK أو ذاك الشبيه بالضوضاء، يرتبط على نحو متوقَع بشدة هذا التشكيل. وفي أي قطاع سمتي يحدث فيه هذا النمط من التداخل يكفي أن تضاف الكثافة الطيفية لقدرة هذا التداخل إلى الكثافة الطيفية للضوضاء الحرارية في مستقبل الرادار. وإذا أشير إلى الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء في مستقبل الرادار، في غياب التداخل بالرمز N_0 وإلى الكثافة الطيفية لقدرة التداخل من النمط ضوضاء بالرمز I_0، يمكن الحصول على الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء الفعلية عن طريق جمع $N_0 + I_0$.

ويمكن أن يتفاوت عامل التجميع تفاوتاً كبيراً في بعض أنظمة الاتصالات التي يمكنها أن تنشر عدداً كبيراً من المحطات. ويتعين على تحليل التجميع أن ينظر فيما يتراكم من جميع الاتجاهات من مساهمات مستقبَلة عبر الفص الرئيسي و/أو الفصوص الجانبية لهوائي الرادار للتوصل إلى نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) الإجمالية.

وتحديد أثر التداخل النبضي كمياً أكثر صعوبة ويتوقف إلى حد بعيد على تصميم المستقبِل/المُعالج وطريقة تشغيله. وبصورة خاصة، يكون لكسوب المعالجة التفاضلية لعودة هدف صالح ذي نبضات متزامنة، وللنبضات المسببة للتداخل، التي عادة ما تكون غير متزامنة، آثار هامة على سويات معينة للتداخل النبضي. ويمكن أن ينتج عن إزالة الحساسية أشكال مختلفة من انحطاط الأداء. وتقييمها سيكون هدفاً لتحليل التفاعلات بين أنواع مختلفة من الرادارات. وبصورة عامة، يمكن أن يتوقع من خصائص عديدة في رادارات الاستدلال الراديوي أن تساعد على كبت التداخل النبضي في حالة ضعف دورة التشغيل، خاصة من بعض المصادر المعزولة. وترد تقنيات كبت التداخل النبضي في حالة ضعف دورة التشغيل في التوصية ITU-R M.1372 – استعمال محطات الرادار الفعّال للطيف الراديوي في خدمة الاستدلال الراديوي.

ويكون عرض نطاق التردد الوسيط (IF) للأنظمة التي تستخدم ضغط النبضة مطابقاً للنبضة المضغوطة ويعمل كمرشاح متطابق كي يبقى تردي نسبة الإشارة إلى الضوضاء (*S/N*) في حده الأدنى. وتمكن مطابقة مراشيح ضغط النبضة جزئياً فتزيد بالتالي من تأثير التداخل الشبيه بالضوضاء. وفي هذه الحالة، قد تقتضي الضرورة مزيداً من الدراسات أو قياسات التوافق لتقييم التداخل من حيث الأثر التشغيلي على أداء الرادار.

4 الخصائص التشغيلية

1.4 رادارات الملاحة الراديوية للطيران

تعمل رادارات ترصُّد المطار في جميع أنحاء العالم في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz. وتصوّر في الجدول رقم 1 ثمانية أنماط تمثيلية لرادارات مراقبة الحركة الجوية، من الرادار A حتى الرادار F بما في ذلك F1 وF2. وتقوم هذه الرادارات بترصد المطار لمراقبة الاقتراب من المحطات، وعادة ما تتطلب ترصداً لاستخدام قطاع زاويته 360° بالكامل وبجدول زمني يمتد على مدار الساعة. وتقع الرادارات A وC وE وF في المطارات نمطياً، وعادة ما يجهَّز كل من المطارات الرئيسية بواحد أو أكثر من أنظمة رادار مشابهة. وتمثل الرادارات A حتى F، بما في ذلك F1 وF2، الجيل الحالي من الرادارات المنشورة. فيما يمثل الراداران C وE أنظمة الجيل التالي، رغم أن الكثير منهما قد نُشر بالفعل ويمثل بعض التكنولوجيا المستخدمة حالياً، وينبغي له أن يعزز و/أو يحل محل الراداريين A وB، والرادار F في نهاية المطاف بعد عام 2010. أما الرادار D فهو نظام قابل للنقل يُستخدم لمراقبة الحركة الجوية في المدارج الجوية التي لا توجد فيها مرافق قائمة. ولكن لا تزال توجد أيضاً أعداد كبيرة من نمط رادار المغنطرون غير المتماسك في مواقع ثابتة في جميع أنحاء العالم. وهي تعمل عموماً بقدرات ذروية تناهز 1 MW. وعند الاستخدام، يشغَّل الرادار D 24 ساعة يومياً. ويعمل بعض من هذه الرادارات بأسلوب التنوع الترددي الذي يتطلب تخصيصين ترددين، وفي بعض الحالات، أربعة تخصيصات ترددية لكل رادار. وأما الراداران F1 وF2 فيقومان بمهام ترصد المطار والطقس. وقد صُممت لتلبية متطلبات ترصد الطيران للتخفيف من جلبة العنفات الريحية، ولتقديم الترصد لنظام الطائرات بدون طيار، وتقديم منتجات معززة في مجال الأحوال الجوية للطيران.

الملحق 2

نتائج الاختبارات برادارات الملاحة الراديوية للطيران

1 مقدمة

يصف هذا الملحق نتائج اختبارات إدارتين لرادارات الملاحة الراديوية للطيران ويخلص إلى أن معايير حماية نسبة تداخل إلى ضوضاء (*I/N*) بقيمة –10 dB ستحمي تماماً تلك الأنواع من الرادارات في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz. وتستند نتائج

اختبارات إحدى الإدارتين إلى قياسات رادار دوبلري نابض للملاحة الراديوية للطيران يمتلك خصائص تقنية مشابهة لتلك التي تخص الرادار B في الجدول 1 بالملحق 1. وتستند اختبارات الإدارة الأخرى إلى قياسات الرادارات التي تعمل بخصائص مشابهة لتلك التي تخص الراداريين D وE في الجدول 1 بالملحق 1.

2 اختبارات الرادار B

أجريت اختبارات لتحديد الآثار التي سيُحدثها البث من أنظمة الاتصالات الرقمية على رادار البحث في الملاحة الراديوية للطيران (المحدد على أنه الرادار B في الجدول 1 من الملحق 1) والعامل بتوزيع أولي لخدمة الملاحة الراديوية للطيران في النطاق الترددي 2 900-2 700 MHz. وقد استخدمت نتائج تلك الاختبارات لتحديد معايير حماية نسبة التداخل إلى الضوضاء (*I*/*N*) التي ينبغي أن تستخدم في الدراسات التي تقيِّم التوافق بين رادارات الملاحة الراديوية وبين الخدمة المتنقلة أو أنظمة الإذاعة الخارجية/تجميع الأخبار إلكترونياً في النطاق الترددي 2 900-2 700 MHz. ويستخدم هذا الرادار تقنيات التخفيف من التداخل/أساليب المعالجة المحددة في التوصية ITU-R M.1372، والتي تسمح له بالعمل في وجود رادارات أخرى للملاحة الراديوية وللتحديد الراديوي للموقع وللأرصاد الجوية. وكما يتضح في التقرير ITU-R M.2032، فإن تقنيات من هذا النوع فعّالة جداً في خفض التداخل النبضي بين الرادارات أو إزالته.

واستقصت هذه الاختبارات فعالية دارات كبت التداخل في الرادار/برمجيات خفض أو إزالة التداخل الناجم عن البث من نظام اتصالات يستخدم خطة تشكيل رقمي.

1.2 أهداف اختبار الرادار B

كانت أهداف اختبار الرادار B كما يلي:

- القياس الكمي لقدرة معالجة نبذ التداخل في الرادار B لتخفيف البث غير المطلوب من أنظمة اتصالات رقمية بدلالة مستوى قدرتها.
- وضع معايير حماية نسبة التداخل إلى الضوضاء (*I*/*N*) من البث غير المطلوب الذي يستقبله رادار الملاحة الراديوية من أنظمة اتصالات رقمية.
- رصد فعالية تقنيات نبذ التداخل في رادار الملاحة الراديوية وقياسها كمياً لخفض عدد الأهداف الكاذبة والشرائط (الومضات) الشعاعية وضوضاء الخلفية.
- رصد فعالية تقنيات نبذ التداخل في رادار الملاحة الراديوية وقياسها كمياً للتخفيف من فقدان الأهداف المطلوبة.

2.2 الخصائص التقنية والتشغيلية للرادار B

تستخدم الإدارات الرادار B لمراقبة الحركة الجوية في المطارات وحولها ضمن مدى 60 NM (حوالي 111 km). وحُصل على القيم الاسمية للمعلمات الرئيسية لهذا الرادار من وثائق الموافقة التنظيمية ونشرات المبيعات، والأدلة التقنية. وتُعرض هذه القيم في الجدول 1 بالملحق 1.

ويقسم الرادار مداه التشغيلي 60 NM إلى فواصل طول كل منها 16/1 NM (حوالي 116 m)، ويقسم السمت إلى 256 فاصلاً زاوية كل منها 1,4 درجة، ليصبح المجموع الكلي لخلايا المدى–السمت 088 249. وفي كل فاصل سمتي زاويته 1,4 درجة، يرسل المرسل عشر نبضات بتردد تكرار للنبضة واحد ثابت، ثم يرسل ثماني نبضات بتردد تكرار آخر أخفض للنبضة. ويعالج المستقبل كل مجموعة مؤلفة من 18 نبضة ليشكل 18 مرشاحاً دوبلرياً. ويساعد تناوب ترددي تكرار النبضة كل 1,4 درجة في إزالة السرعات العمياء، ويكشف النقاب عن الأهداف المتحركة التي يخفيها الطقس، ويزيل مرتدات جلبة المرة الثانية، ويقسم خرج الرادار إلى قرابة 584 483 4 خلية مدى–سمت دويلرية.

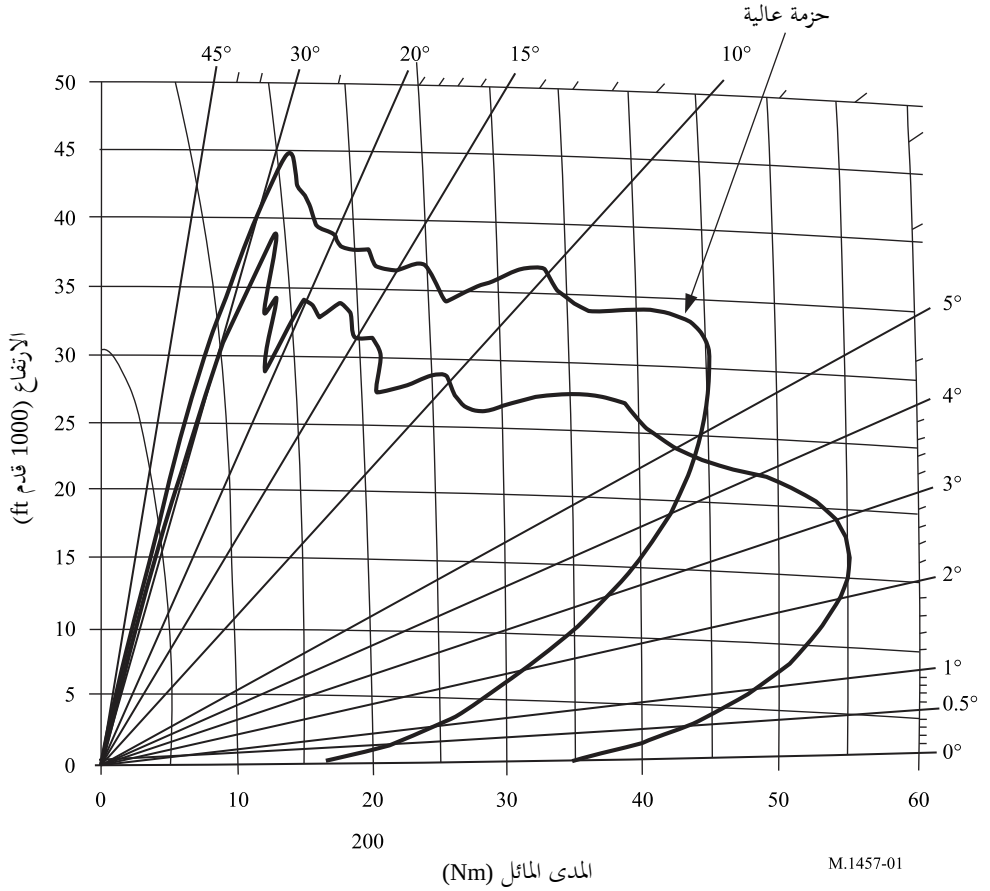
3.2 خصائص معالجة إشارة الرادار B

1.3.2 الهوائي

يستخدم الرادار B أبواقاً عالية ومنخفضة الحزمة في صفيف تغذية الهوائي. وتستقبل الأبواق عالية ومنخفضة الحزمة في صفيف الهوائي النبضات المنعكسة، فتبدلها مكونات عاملة بالموجات الميكروية وتوهنها وتضخمها، وتُرسَل إلى المستقبلات الخاصة بها. ويستقبل البوق عالي الحزمة مرتدات من الأهداف القريبة من الهوائي على ارتفاعات عالية، في حين يستقبل البوق منخفض الحزمة مرتدات من أهداف على علو منخفض ومسافات أبعد. ويقلل مسير الحزمة العالية من شدة الجلبة في المديات القصيرة من أجل تحسين الرؤية تحت سوية الجلبة. وفي هذه الاختبارات، اختير مستقبِل منخفض الحزمة لأن الرادار يستقبل التداخل على الأرجح من أجهزة بث أرضية محلية عبر هذا المسير. وتُستخدم الحزمة المنخفضة لرصد أهداف في مديات تزيد عن 15-20 NM (حوالي 28-37 km). ولا تُستخدم الحزم في وقت واحد؛ بل يبدل مستقبِل الرادار بينها. وتظهر في الشكل 1 تغطية مخططات إشعاع الحزم العالية والمنخفضة لهدف تبلغ مساحة مقطعه العرضي 1 m^2 باحتمال كشف يساوي 0,80.

الشكل 1

مخططات إشعاع تغطية الحزم العالية والمنخفضة



2.3.2 مستقبِل هدف الرادار B

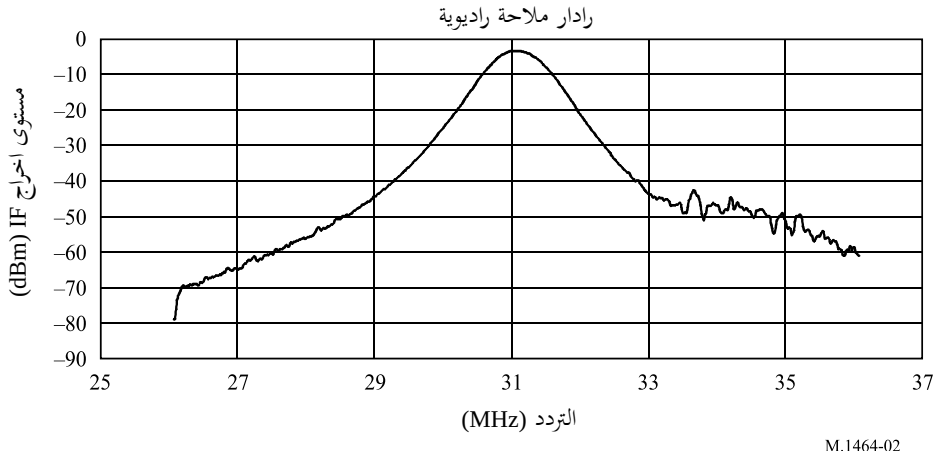
يستخدم مستقبِل/معالج الهدف في الرادار B التحكم الزمني في الحساسية (STC) وكشف الهدف المتحرك، والذي يتضمن اصطفاء دوبلر ومعالجة CFAR، لكشف مرتدات الهدف وفصلها عن الضوضاء وجلبة الأرض والطقس. ويفرز مستقبِل/معالج الهدف مرتدات الهدف حسب المدى، ويكشف انزياحها الدوبلري، ويرسلها إلى المعالج اللاحق في نظام الرادار.

1.2.3.2 دارات التردد الوسيط (IF) في الرادار B

يضخم مستقبِل التردد الوسيط مخرجات مستقبِل الترددات الراديوية ويكشف انزياحات طورها. وتتكون دارات التردد الوسيط من كاشف/مكبر فيديوي لوغاريتمي ذي ثلاث مراحل ومدى دينامي واسع وكاشف للطور المطابق (I) والمتعامد (Q). ويظهر خرج مستقبِل مكبر التردد الوسيط على التردد 07.31 MHz. وقد طُبقت إشارة موجة مستمرة (CW) مكنوسة ترددياً كمحفزات لدخل مستقبِل الرادار من أجل الحصول على عرض نطاق 3 dB للمستقبِل، الذي بلغ عند القياس حوالي 680 kHz في دخل كواشف الطور. وتظهر في الشكل 2 استجابة المستقبِل لإشارة الموجة المستمرة المكنوسة. وقيس المدى الدينامي لمستقبِل الرادار بتغيير مستوى قدرة إشارة موجة مستمرة ثابتة التردد ومراقبة خرج دارات التردد الوسيط عند نقطة الاختبار نفسها. ويبين الشكل 3 خصائص كسب مستقبِل الرادار. وتحدث نقطة الضغط هذه بإشارة دخل يبلغ مستوى قدرتها حوالي –43 dBm.

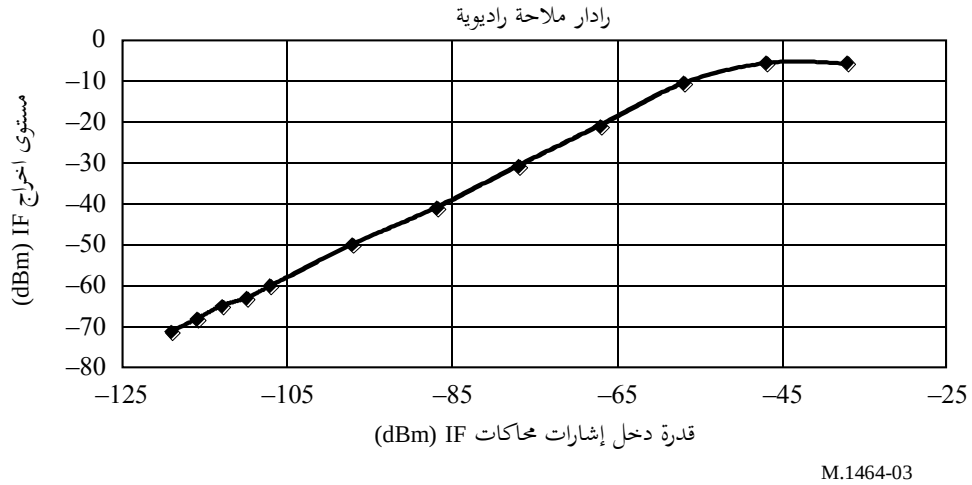
الشكل 2

منحنى انتقائية التردد الوسيط (IF) في الرادار B



الشكل 3

منحنى كسب دخل/خرج الرادار B



تحدد كواشف الطور في خرج مكبر التردد الوسيط تغير الطور بين المرتدات ونبضات الإرسال التي أنتجتها، وذلك باستخدام مذبذب متماسك (COHO) من مولد ترددات كمرجع لطور نبضات الإرسال. ولكل من كواشف الطور استجابات جيبية، وهي تنتج مخرجات بطور مطابق (I) ومتعامد (Q) بعلاقة طور جيب–تمام جيب (90°) فيما بينها. ولأن استجابات كاشف الطور بطور مطابق (I) ومتعامد (Q) هي دوال جيبية وتمام جيبية، يمكن جمع مخرجاتها كما تُجمع المتجهات الشعاعية لتحديد الاتساع الفعلي

للمرتدات عن الهدف. وتضبط العرى المؤازرة المنفذَّة بالبرمجيات تخالفات التيار المستمر (DC) ورصيد الكسب ورصيد الطور للمخرجات من كواشف الطور بطور مطابق (I) ومتعامد (Q). وهي تضبط أيضاً مستوى التحكم التلقائي في كسب مكبرات الترددات الراديوية والترددات الوسيطة للحد من مستوى الضوضاء داخل كمة (quanta) واحدة (التغير في مستوى الترددات الراديوية ممثلاً في خرج البتة الأقل دلالة لمحول التماثلي إلى الرقمي (A/D)) من الضوضاء نفسها.

وتؤخذ عينات من مخرجات دارات التردد الوسيط (IF) بطور مطابق (I) ومتعامد (Q) وترقمَن بمحولات التماثلي إلى الرقمي (A/D) خلال كل 0,77 µs (ما يعادل 0,75% من عرض نبضة الإرسال)، فتغطي خلية مداها NM 16/1 (حوالي 116 m) بمعدل ميقاتية 6,2 MHz. ثم تُمزَج النتائج تكاملياً. ويخرِّج محول A/D كلمات رقمية، بطول 12 بتة تمثل عينات من إشارات بطور مطابق (I) ومتعامد (Q)، إلى المرشاح ومعالج اتساع الإشارات.

2.2.3.2 الاصطفاء الدوبلري

في كل خلية مداها NM 16/1، تتشكل فواصل معالجة متماسكة (CPI) مكونة بالتناوب من مرتدات من 10 و8 فواصل تكرار نبضة متتالية. وفي حالة 10 نبضات، تطبَّق بالتتابع دفعات مرتبطة بكل زيادة متعاقبة في مدى NM 16/1 على نفس مجموعة المراشيح الدوبلرية العشرة. وتخزن ذاكرة النفاذ العشوائي التمثيل الرقمي للمرتدات على مدى عدة قطارات تكرار نبضي وتعالجها المراشيح الدوبلرية معاً بحيث يمكن حساب التغيرات بين نبضة وأخرى في الاتساعات المرتدة عن الهدف (التي تمثل ترددات دوبلرية ظاهرة). وبالنسبة إلى فاصل المعالجة المتماسكة لعشر نبضات، تُستخدم خمسة من المراشيح لكشف الاهداف المتحركة نحو هوائي الرادار وتُستخدم الخمسة الأخرى لكشف أهداف تتراجع. وتُستخدم عملية مماثلة في فاصل المعالجة المتماسكة لثماني نبضات، إلا أن ثمانية مراشيح تُستخدم حينها. وتحسِّن المراشيح الدوبلرية نسبة الإشارة إلى الضوضاء في المستقبِل لأن المراشيح الدوبلرية تضيف أو تدمج سلسلة من مرتدات الهدف في ترددها. ويسبب ذلك تراكماً تدريجياً للإشارات المرتدة في خرج المرشاح، بينما تتراكم ضوضاء التردد العشوائي في مخرجات المرشاح بمعدل أبطأ بكثير.

3.2.3.2 عملية معدل الإنذارات الكاذبة الثابت

يستخدم الرادار B تقنية حساب متوسط النافذة المنزلقة (أو حساب متوسط المدى) لمعدل الإنذارات الكاذبة الثابت (CFAR) في 27 خلية لحساب عتبة متوسط المستوى (MLT). وتغيِّر معالجة CFAR تلقائياً عتبة الكشف لإدارة الإعلانات عن هدف كاذب، بناءً على الإشارة المرتدة بالإضافة إلى مخرجات الضوضاء للمراشيح الدوبلرية بمعدل ثابت. ويجمع كل مرشاح دوبلري الطاقة الواردة في دفق المرتدات المستقبَل فيما يكنس الهوائي فوق هدف ما. وتُجمع هذه الطاقة مع طاقة الضوضاء التي تتراكم في المرشاح خلال الفاصل الزمني نفسه. فإذا تجاوزت الإشارة المتكاملة بالإضافة إلى الضوضاء في خرج المرشاح عتبة متوسط المستوى، يستنتج الكاشف وجود هدف.

وتوضع عتبات لخلايا استبانة السرعة الموجهة غير الصفرية بجمع مخرجات الإشارات المكشوفة في مرشاح السرعة الموجهة نفسها ضمن نافذة 27 خلية تتمركز حول الخلية التي تسترعي الاهتمام. وهكذا، يُحسب متوسط كل خرج مرشاح لتحديد مستوى متوسط جلبة السرعة الموجهة غير الصفرية. وتحدَد عتبات المرشاح بضرب المستويات الوسطية بثابت مناسب للحصول على احتمال الإنذارات الكاذبة المطلوب.

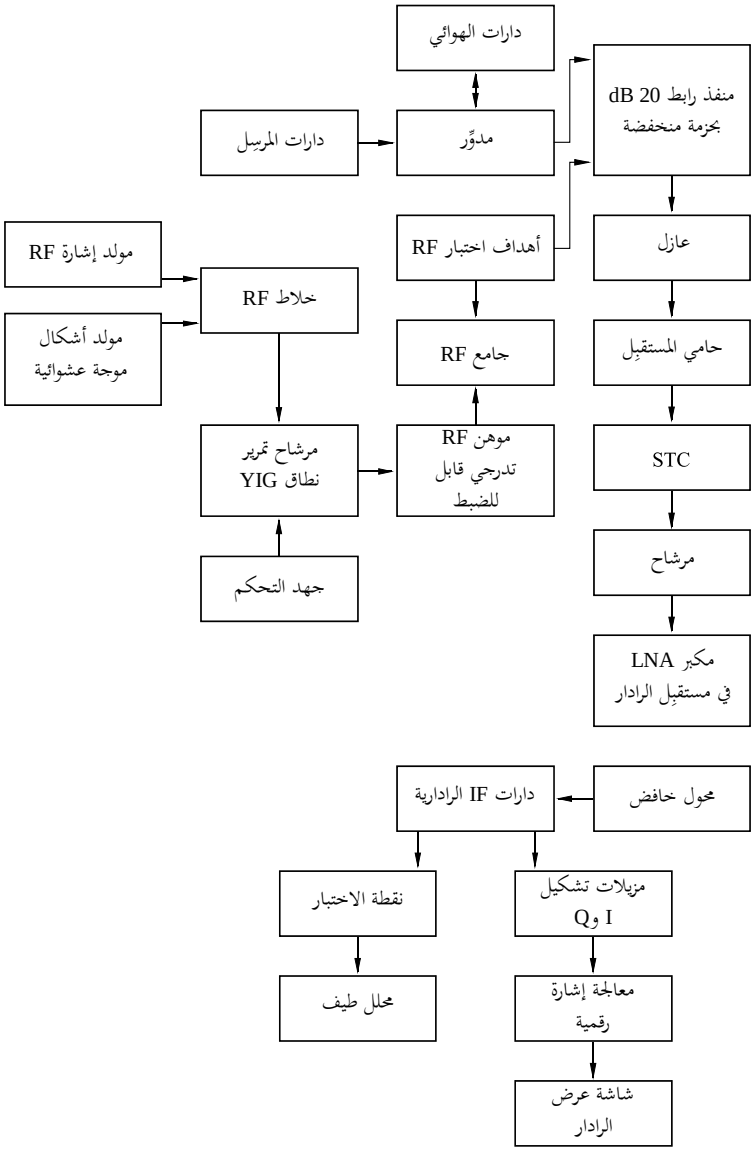
وستتجاوز الضوضاء العشوائية أحياناً عتبة متوسط المستوى (MLT)، وسيبين الكاشف خطأً وجود هدف. وكلما ارتفعت عتبة الكشف نحو المستوى المتوسط لطاقة الضوضاء، قل احتمال حدوث إنذار كاذب، وبالعكس. وإذا أوغلت عتبة الكشف في الارتفاع، يمكن أن تمر أهداف مشروعة دون أن تُكشف. فتراقَب مخرجات المراشيح الدوبلرية بشكل مستمر للحفاظ على ضبط العتبة الأمثل. ويضبط معدل الإنذارات الكاذبة الثابت (CFAR) عتبات الكشف للحفاظ على القيمة المثلى لمعدل الإنذارات الكاذبة في كل مرشاح دوبلري. وسيظهر كضوضاء في وقت واحد في جميع المراشيح الدوبلرية شكلُ موجة من نمط تشكيل متعامد بزحزحة الطور (QPSK) يغطي نطاق مستقبِل الرادار، فيحمل معدل الإنذارات الكاذبة الثابت على رفع عتبة الكشف، مما يقلل في المقابل من احتمال كشف الأهداف جميعها.

4.2 الإشارات غير المطلوبة

حُقنت ثلاثة أنواع من الإشارات في الرادار كبث غير مطلوب عبر منفذ 20 dB مربوط في مسير الدليل الموجي للمستقبِل (انظر الشكل 4). وكانت الإشارات موجة مستمرة غير مشكَّلة، وفي شكل موجة QPSK بمعدل 2 Mbit/s، وفي شكل موجة QPSK بمعدل 2 Mbit/s مشفوعة بعامل تشغيل 8/1 للحيز الزمني. وكانت جميع الإشارات الثلاث مولَّفة مع تردد تشغيل الرادار ووقعت ضمن 360 درجة كاملة من دوران الهوائي.

الشكل 4

إعدادات الاختبار مع مولد إشارة تشكيل متعامد بزحزحة الطور (QPSK)



M.1464-04

تمثل أشكال الموجة المستمرة وموجة QPSK النبضية نوع الإشارات التي يُتوقع أن تستخدمها أنظمة الاتصالات الرقمية.

وكانت إشارة QPSK وُلِّدت وحُقنت في مستقبِل رادار الملاحة الراديوية باستخدام إعدادات الاختبار المبينة في الشكل 4.

وجرت محاكاة إشارة موجة مستمرة باستخدام مولد إشارة ترددات راديوية. وبُرمج مولد موجات، لا على التعيين، ليخرِّج شكل موجة QPSK بمعدل بيانات 2 Mbit/s، من أجل شكل موجة QPSK من نمط النفاذ المتعدد بتقسيم شفري (CDMA). ومن

أجل شكل موجة QPSK من نمط النفاذ المتعدد بتقسيم زمني (TDMA)، استُخدم مولد موجات (AWG) آخر، لا على التعيين، ليطلق شكل موجة QPSK نبضياً بعامل تشغيل 8/1 الحيز الزمني. فبلغت مدة تشغيل النبضة 577 µs وكان الدور 4,6 ms.

وأُدخل خرج AWG إلى خلاط كان دخله الآخر موصولاً بمولد إشارة ترددات راديوية. فعمل مولد إشارة الترددات الراديوية كمذبذب محلي وعُدل تردده بحيث وُلفت حاملة شكل موجة QPSK على نفس تردد مستقبِل الرادار. واستُخدم مرشاح الفارنيت من الحديد والإتّريوم (YIG) الممرِر لنطاق من أجل كبت أي بث هامشي ناجم عن عملية الخلط. واستُخدم موهن الترددات الراديوية المتدرج بعد مرشاح YIG مباشرةً للتحكم في مستوى قدرة بث QPSK.

5.2 توليد الأهداف وإحصاؤها

وُلدت عشرة أهداف جرت محاكاتها على امتداد شعاع باستخدام العتاد/البرمجيات المدمجة في مولد الأهداف الاختبارية للرادار. وكان للأهداف الواقعة على الشعاع غلاف قدرة ثابت. وأُحصيت الأهداف بعشرين دوران للرادار تولد خلالها 200 هدف. فإذا أُحصي 200 هدف يكون احتمال الكشف، P_d، 100%، وإذا أُحصي 180 هدفاً كان احتمال الكشف 0,90، وهلم جرا. لذلك، حُسب احتمال الكشف بقسمة عدد الأهداف التي جرى إحصاؤها على عدد من الأهداف المتوقعة (أو الأهداف المولَّدة). وأُحصيت الأهداف يدوياً برصد الخرج الفيديوي المتلازم على محدد مواقع الخطة (ppi) للرادار.

6.2 ظروف الاختبار

أجريت الاختبارات بضبط المعلمات التالية على رادار الملاحة الراديوية للطيران على النحو المبين في الجدول 3.

الجدول 3

إعدادات التحكم في الرادار

المعلمة	الإعدادات
STC	مطفأ
نبذ التداخل (IR)	مشغَّل
التحكم التلقائي في الكسب	مشغَّل
الصورة المختارة	فيديو معالَج
المدى	60 NM (حوالي 111 km)
احتمال كشف، P_d، الأهداف المرجعي المطلوب	0,90 (مضبوط بالبرمجيات)

وعلى الرغم من تفعيل التحكم التلقائي في الكسب، لم تكن الإشارات المسببة للتداخل بمستوى قدرة عال بما يكفي للتأثير على عملياته.

وتوصِّف الجهة المصنعة للرادار B أداءه باحتمال كشف نسبته 80% لهدف مقطعه العرضي 1 m^2 عند 55 NM مع كون احتمال الإنذار الكاذب، P_{fa} ، 1×10^{-6}. أما احتمال كشف، P_d، الأهداف المرجعي المطلوب بقيمة 0,90 الذي اختير للاختبارات فهو يمثل مستوى الأداء الذي ستحققه الرادارات العاملة في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz في المستقبل القريب، إذ يسمح لها كسب المعالجة الإضافي بكشف الأهداف عند أو ما دون الحد الأدنى لضوضاء مستقبل الرادار.

7.2 إجراءات الاختبار

عُدل خرج قدرة الترددات الراديوية في النظام المولد للأهداف بحيث اقترب احتمال كشف الأهداف (P_d) قدر الإمكان (بالنظر إلى أن مستويات الأهداف لا يمكن تعديلها إلا بزيادات تبلغ كل منها 1 dB) من احتمال كشف الأهداف المرجعي البالغة نسبته 90% دون وجود تداخل (للأهداف الفيديوية المتلازمة). وأُحصيت الأهداف في عشرين مسحة لتحديد احتمال كشف الأهداف المرجعي. وبالنظر إلى معالجة CFAR، استغرق الرادار 8-10 مسحة قبل أن يصل إلى حالة مستقرة بعد تعديل قدرة الهدف.

وبعد أن ضُبط الرادار في حالته المرجعية، حُقن تداخل CW وQPSK في مستقبِل الرادار. وضُبطت قدرة إشارات CW وQPSK التي حُقنت في مستقبِل الرادار على مستويات مختلفة بينما ثُبت مستوى قدرة الأهداف. وضُبطت مستويات قدرة إشارات CW وQPSK بقيم أنتجت مستويات –12 و–10 و–9 و–6 و–3 و0 و+3 و+6 dB لنسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) في دارات التردد الوسيط لمستقبِل الرادار. ولاحتساب معالجة CFAR في الرادار، لم تحصَ الأهداف حتى انقضاء عشر مسحات بعد تفعيل التداخل. وبعد 20 مسحة مواكبة لتفعيل التداخل وإحصاء الأهداف ، عُطل التداخل وسُمح بانقضاء عشر مسحات إضافية قبل اختبار المستوى التالي لنسبة التداخل إلى الضوضاء. وضمن انتظار انقضاء عشر مسحات عدم تأثر القياس الحالي بسابقه.

ونُوعت مستويات قدرة CW وQPSK، ورُصدت شاشة عرض الرادار بحثاً عن زيادة في عدد الأهداف الكاذبة والشرائط (الومضات) الشعاعية، وزيادة في "بقع" الخلفية.

8.2 نتائج الاختبار

أُنتجت منحنيات تبين احتمال كشف الأهداف (P_d) مقابل مستويات نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) لبث CW وCDMA-QPSK وTDMA-QPSK غير المطلوب. وتظهر النتائج في الشكل 5.

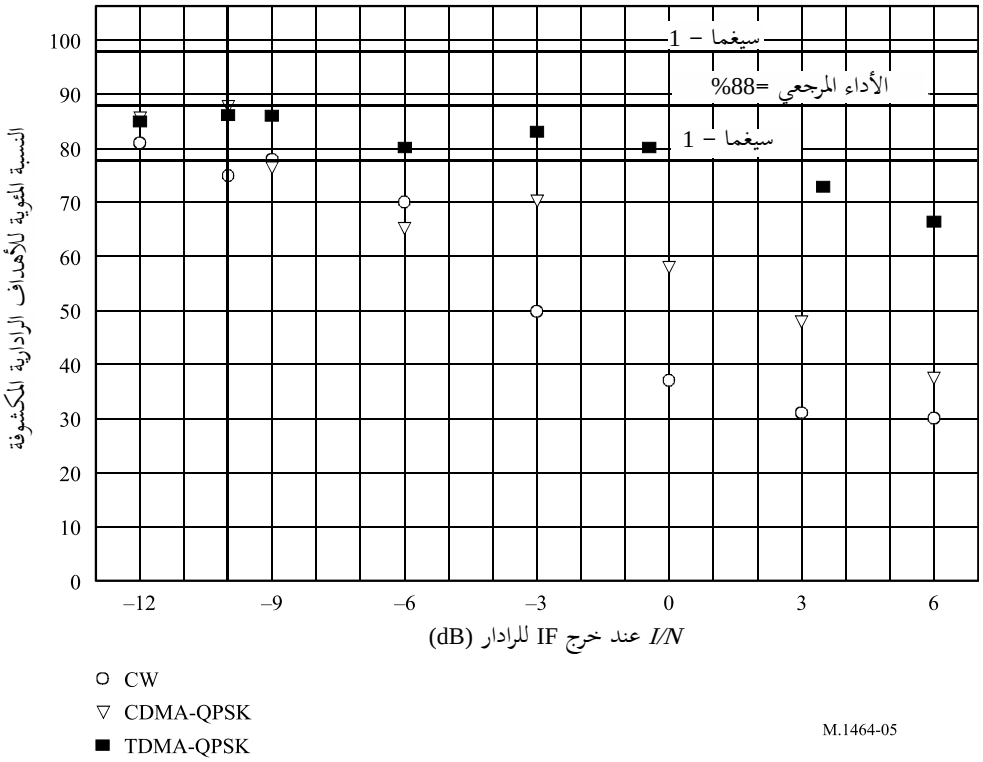
وبالنسبة للاختبارات المرجعية (دون حقن تداخل في الرادار) رصد الرادار ما قيمته الوسطية 8,8 من الأهداف من أصل عشرة أهداف حُقنت لكل دوران. ورُصد عشرون دوراناً في كل تجربة. وكان الاحتمال المرجعي الفعلي لكشف الأهداف 200/175، أو 88%. وعلى الرغم من توصيف تسعة من أصل عشرة أهداف لكل دوران بمثابة الاحتمال المرجعي المطلوب لكشف الأهداف، كانت إمكانية التحكم في قدرة خرج الترددات الراديوية لمولد الأهداف محدودة بتدرجات نسبة كل منها 1 dB مما جعل الحصول على نسبة احتمال كشف الأهداف (P_d) بقيمة 0,90 في غاية الصعوبة. وفي إعدادات قدرة الهدف التي استُخدمت في الاختبارات، أسفرت زيادة بنسبة 1 dB في قدرة الهدف عن احتمال كشفه بما يربو عن 0,95 وأسفر النقص بنسبة 1 dB في قدرة الهدف عن احتمال كشفه بما يساوي 0,75 تقريباً.

وبلغ التغاير في أي إحصاء مرجعي للأهداف، 1,1 من الأهداف في كل دوران. وقيمة سيغما-1 تساوي الجذر التربيعي للتغاير، أو 1,05. وذلك هو حجم الخطأ المسموح به في احتمال كشف الأهداف (P_d) المرجعي الذي يساوي متوسط قيمة الأهداف ناقصاً قيمة سيغما-1، ومقسوماً على 10. وهذه القيمة هي (8,8 – 1,05)/10 أو ±10%. ويبين الشكل 5 احتمال كشف الأهداف (P_d) المرجعي بنسبة 88% ويظهر أيضاً الحدود العليا والدنيا للخطأ المسموح به في قيم سيغما-1 على أساس احتمال كشف الأهداف. فالحد الأعلى لاحتمال كشف الأهداف هو 98% والحد الأدنى له هو 78%. أما المستوى المقبول لنسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) عند تعرض مستقبِل الرادار للتداخل فهو قيمة هذه النسبة التي لا يتسبب التداخل عندها بهبوط احتمال كشف الأهداف إلى أقل من الحد الأدنى البالغ 78%.وعند ارتفاع احتمال كشف الأهداف، تكون قيمة سيغما-1 أصغر، مما يجعل حماية نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) أكثر صرامة.

ويبين الشكل 5 عتبات نسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N) لكل نمط من إشارات التداخل التي يهبط بها احتمال كشف الأهداف تحت عتبة سيغما-1. وبالنسبة إلى نمطي إشارة التداخل CW وQPSK-CDMA ، يحدث ذلك عندما تزيد قيم نسبة التداخل إلى الضوضاء عن –10 dB. أما بالنسبة إلى نمط إشارة التداخل QPSK-TDMA، فلم يهبط احتمال كشف الأهداف تحت خط سيغما-1 حتى عندما زادت نسبة التداخل إلى الضوضاء عن 0 dB.

الشكل 5

احتمال ظهور الأهداف في منحنيات الكشف



3 اختبارات الرادار D وE

نفذت إحدى الإدارتين قياسات بالرادارين D وE مستخدمةً الضوضاء البيضاء ضيقة النطاق وإشارات تعدد الإرسال المتعامد بالتقسيم الترددي كمصادر تداخل لتحديد التأثير على احتمال كشف أهداف (P_d) الرادار. واستُخدمت طائرات كأهداف سانحة.

وإلى جانب احتمال كشف الأهداف (P_d)، فإن معدل الإنذارات الكاذبة، P_{fa}، والدقة من المعلمات الهامة لأداء الرادار التي قد تتأثر بتداخل إضافي، على الرغم من أن معدل الإنذارات الكاذبة ينبغي أن يكون ثابتاً نظرياً لأن معالج الفيديو يستخدم خوارزمية CFAR لضبط عتبة الكشف. وفي هذه الاختبارات، لا تُعرض سوى نتائج احتمال كشف أهداف.

وتبين الأشكال التالية تأثير تداخل إشارات DVB-T على احتمال الكشف في رادار واحد لجميع الطائرات ضمن الحجم:

– NM 60-40 (حوالي 74-111 km) (NM 60 هو المدى الأقصى لما يكشفه الرادار)؛

– فوق مستوى الطيران 250 (000 25 قدم، أو ما يقرب من 620 7 متراً فوق مستوى سطح البحر).

وتجدر الإشارة إلى ظروف أخرى يمكن أن تكون فيها الآثار أسوأ مما يبينه هذا السيناريو حيث تكون خسارة الأداء أشد بالطبع منها في محيط الرادار:

– مجرد طائرة صغيرة (الطيران العام أو طائرات عسكرية) بدلاً من كل شيء؛

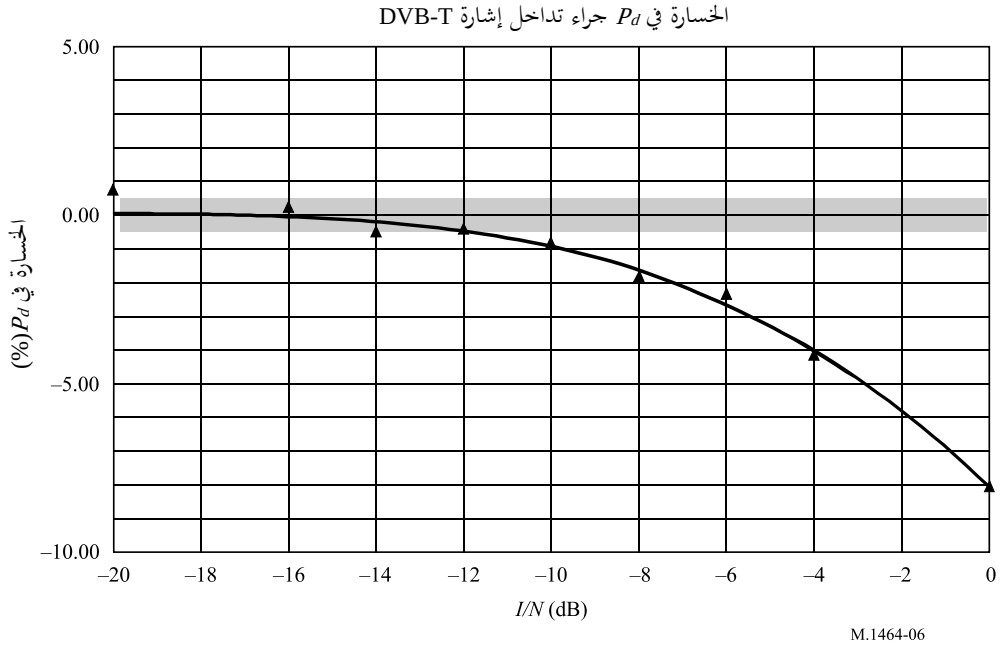
– مستويات الطيران المنخفض (وخصوصاً لمسافات طويلة)؛

– التركيز على أقصى مدى حصراً (مثلاً NM 60-50، أو ما يقرب من 92-111 km).

وقد اختير المثال أعلاه لأنه يوفر ما يكفي من عينات لتحليل إحصائي مستقر. والقيمة المرجعية – التي تكون فيها الخسارة في احتمال كشف الأهداف (P_d) 0% – هي متوسط سبعة قياسات دون أي إشارة تداخل. ولهذه القيم انحراف معياري قدره 0,5% يتكون من أخطاء القياس وتأثير التقلبات في مجموعة بيانات الحركة السانحة ويبيَّن بشريط أفقي مظلل في الأشكال التالية.

الشكل 6

مستوى التداخل، ونسبة التداخل إلى الضوضاء (*I/N*) مقابل الخسارة في احتمال كشف الأهداف (*Pd*) للطائرات فوق مستوى الطيران 250 وما بعد 40 nmi لرادار الترصد في مطار سالزبورغ

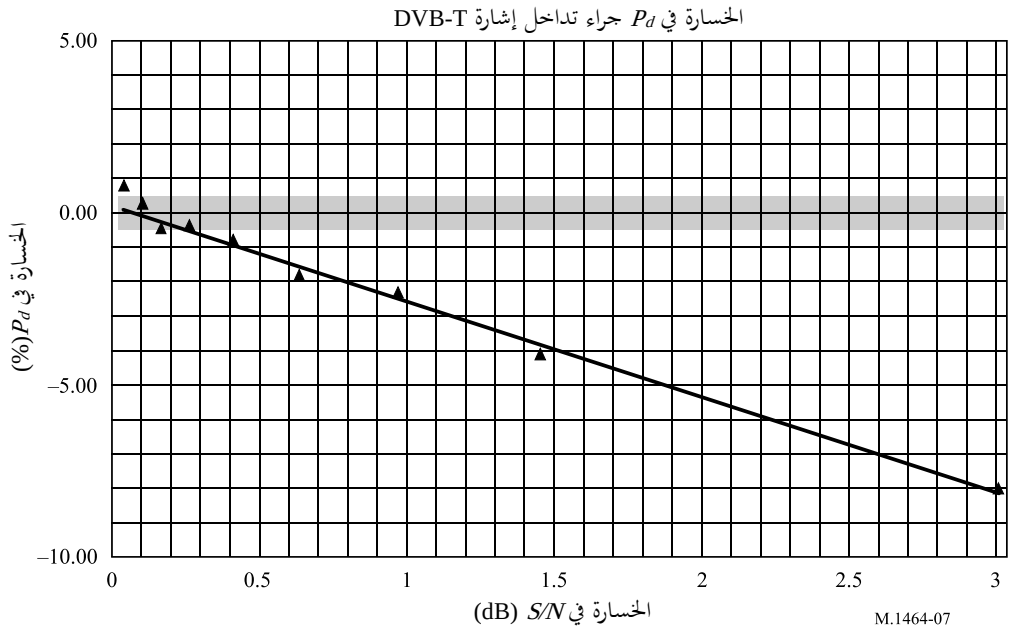


عند I/N = –6 dB هناك بالفعل خسارة بنحو 2,5% في احتمال الكشف، وعند –10 dB تبلغ نسبة الخسارة 0,8% فتظل خارج هامش الخطأ. ويُظهر منحنى الاستكمال الداخلي أن هبوط احتمال كشف الأهداف (P_d) يبدأ عند حوالي –14 dB ويصبح ذا شأن فوق –10 dB. ويبين الشكل 7 البيانات نفسها ولكن بدلالة $\Delta S/N$ بدلاً من I/N. وتبلغ حساسية احتمال كشف الأهداف للخسارة في نسبة الإشارة إلى الضوضاء S/N حوالي 3%/dB بين 1% و7% من الخسارة في احتمال كشف الأهداف.

وعادة ما تكون نتائج القياسات في الرادار الآخر هي نفسها باستثناء أن احتمال كشف الأهداف (P_d) المطلق لنظام الرادار الأقدم (وخاصة عند استخدام قناة ذات تردد واحد فقط) هو أقل عموماً من قيمته في النظام الحديث ذي الأسلوب المختلف في معالجة البيانات.

الشكل 7

الخسارة في نسبة الإشارة إلى الضوضاء ($\Delta S/N$) مقابل الخسارة في احتمال كشف الأهداف (P_d)
فوق مستوى الطيران 250 وما بعد 40 nm



4 الاستنتاجات

تبين نتائج الاختبار في هذا الملحق تأثر قدرة الرادارات B وD وE بالفعل على كشف الأهداف في مستوى –6 dB لنسبة التداخل إلى الضوضاء (I/N). ومن أجل توفير الحماية الكاملة لأنماط الرادار B وD وE وغيرها من رادارات الملاحة الراديوية للطيران التي تعمل في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz من بث أنظمة الاتصالات التي تستخدم مخططات التشكيل الرقمي المختبَرة، ينبغي أن يكون معيار حماية نسبة التداخل إلى الضوضاء –10 dB. وتمثل هذه القيمة عتبة التداخل الإجمالي إذا تعددت مصادر التداخل القائم. وقد تؤدي المتطلبات المستقبلية من الرادارات التي تعمل في النطاق الترددي 700 2-900 2 MHz لكشف وتتبع أهداف ذات مقاطع عرضية أصغر، إلى معايير حماية أكثر صرامة.

_____