

## التوصية ITU-R RS.1166-6

(2025/06)

السلسلة RS: أنظمة الاستشعار عن بُعد

معايير جودة الأداء والتداخل لأجهزة الاستشعار  
الفضائية النشطة

## 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 المدى 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 الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <https://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.

## سلسلة توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <https://www.itu.int/pub/R-REC/ar>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
<b>أنظمة الاستشعار عن بُعد</b>	<b>RS</b>
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 2025

© ITU 2025

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 RS.1166-6

## معايير جودة الأداء والتداخل\* لأجهزة الاستشعار الفضائية النشطة

(1995-1998-1999-2006-2009-2023-2025)

## مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية معايير الأداء والتداخل في أجهزة الاستشعار الفضائية النشطة في النطاقات المخصصة لخدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشطة). ويرد في الملحق وصف الأسس التقنية المستخدمة في وضع هذه المعايير لأنواع مختلفة من أجهزة الاستشعار الفضائية النشطة. ومن أنواع أجهزة استشعار أنظمة السبر المدارية، وأجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR)، ومقاييس الانتثار، ومقاييس الارتفاع، ورادارات هطول الأمطار، ورادارات رصد السحب.

## كلمات رئيسية

جهاز تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR)، مقياس الارتفاع، مقياس الانتثار، رادار هطول الأمطار، رادار رصد السحب

## المختصرات/مسرد المصطلحات

DPR	رادار مزدوج لهطول الأمطار ( <i>Dual precipitation radar</i> )
DSD	توزيع حجم القطرة ( <i>Drop size distribution</i> )
GPM	قياس هطول الأمطار العالمي ( <i>Global precipitation measurement</i> )
IFOV	مجال الرؤية الآني ( <i>Instantaneous field of view</i> )
ITCZ	منطقة التقارب المدارية ( <i>Inter-tropical convergence zone</i> )
MCMC	سلسلة ماركوف مونت كارلو ( <i>Markov chain Monte Carlo</i> )
NESZ	مكافئ الضوضاء سيغمالسيغما صفر ( <i>Noise-equivalent sigma zero</i> )
PR	رادار هطول الأمطار ( <i>Precipitation radar</i> )
RMSE	جذر متوسط الخطأ التربيعي ( <i>Root mean square</i> )
SAR	رادار ذو فتحة تركيبية ( <i>Synthetic aperture radar</i> )
SWE	المكافئ المائي للثلج ( <i>Snow water equivalent</i> )
TRMM	مهمة قياس الأمطار المدارية ( <i>Tropical rainfall measuring mission</i> )
VPRF	تردد تكرار النبضة المتغير ( <i>Variable pulse repetition frequency</i> )

\* معايير التداخل لا تعني تلقائياً معايير التقاسم.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن الاستشعار عن بُعد بواسطة أجهزة استشعار فضائية بموجات صغيرة نشيطة يحتاج إلى مدى ترددات معين يتوقف على الظواهر المادية المطلوب رصدها؛
- (ب) أن بعض نطاقات الترددات قد حُصصت للتحسس عن بُعد بواسطة أجهزة استشعار فضائية بموجات صغيرة نشيطة؛
- (ج) أن هذه النطاقات مخصصة أيضاً لخدمات اتصالات راديوية أخرى؛
- (د) أن هنالك دراسات حددت شروط حساسية القياس؛
- (هـ) أن متطلبات الأداء للأجهزة استشعار النشيطة يمكن صياغتها حسب دقة قياس المعلومات المادية والتيسر مقيسة على سوية الساتل، مع افتراض أن الانحطاط الناجم عن عناصر أخرى للنظام هو انحطاط ضئيل؛
- (و) أنه ينبغي وضع أهداف جودة الأداء لأجهزة استشعار الفضائية النشيطة ذات الموجات الصغيرة للتمكن من تحديد معايير التداخل المصاحب؛
- (ز) أن معايير التداخل ضرورية للتمكن من تصميم أنظمة تتناسب والأداء المطلوب في وجود التداخل، ولتقييم الملاءمة مع أنظمة الخدمات الأخرى، ولتسهيل إعداد معايير التقاسم؛
- (ح) أن الملحق 1 يعرض الأسس التقنية لحساب معايير جودة الأداء والتداخل انطلاقاً من مختلف الأجهزة استشعار النشيطة النموذجية،

توصي

- 1 بدراسة تطبيق معايير جودة الأداء الواردة في الجدول 1 على الأدوات المستعملة في الاستشعار عن بعد النشط لطبقات المياه الجوفية للأرض والصفائح الجليدية والمحيطات والغلاف الجوي:

الجدول 1

معايير جودة الأداء لأدوات الاستشعار عن بعد عن بُعد						نطاق الترددات
رادار رصد السحب	رادار قياس هطول الأمطار	مقياس الارتفاع	مقياس الانتثار	جهاز تصوير الرادار ذي الفتحة التركيبية	المسبار الراداري	
					مكافئ الضوضاء (NESZ) 10- dB <sup>(1)</sup>	MHz 50-40
				مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 36-		MHz 438-432
			مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 32-	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 36-		MHz 1 300-1 215
		دقة مستوى سطح البحر cm 3 ≥		مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 26-		MHz 3 300-3 100

الجدول 1 (تتمة)

معايير جودة الأداء لأدوات الاستشعار عن بعد عن بُعد						نطاق الترددات
رادار رصد السحب	رادار قياس هطول الأمطار	مقياس الارتفاع	مقياس الانتثار	جهاز تصوير الرادار ذي الفتحة التركيبية	المسبار الراداري	
		دقة مستوى سطح البحر $cm \geq 2$	سرعة الرياح $m/s \leq 2$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 30- و-33 فوق المحيط		MHz 5 570-5 250
		دقة مستوى سطح البحر $cm \geq 3$	سرعة الرياح $m/s \leq 3$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 21-		MHz 8 650-8 550
		دقة مستوى سطح البحر $cm \geq 3$	سرعة الرياح $m/s \leq 3$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 18-		10 400-9 200 MHz
	المعدلات الدنيا للمطر $mm/h$ 0,75-0,7	دقة مستوى سطح البحر $cm \geq 2$	سرعة الرياح $m/s \leq 3$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB cm 27-		GHz 13,75-13,25
	المعدلات الدنيا للمطر $mm/h$ 0,75-0,7		سرعة الرياح $m/s \leq 3$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB 26-		GHz 17,3-17,2
	المعدلات الدنيا للمطر $mm/h$ 0,75-0,7					GHz 24,25-24,05
% 10± dBZ 24-	المعدلات الدنيا للمطر $mm/h$ 0,2-0,05	دقة مستوى سطح البحر $cm \geq 2$	سرعة الرياح $m/s \leq 3$	مكافئ الضوضاء (NESZ) dB cm 22-		GHz 36-35,5
% 10± dBZ 27-						GHz 79-78
% 10± dBZ 35-	المعدلات الدنيا للمطر $mm/h$ 0,05					GHz 94,1-94
% 10± dBZ 34-						GHz 134-133,5
% 10± dBZ 44-						GHz 238-237,9

(1) للاطلاع على التفاصيل، انظر الفقرة 2.2 من الملحق 1 بهذه التوصية.

:NESZ: مكافئ الضوضاء للسيجما صفر هو مقياس عتبة الضوضاء الذي يقيس حساسية النظام تجاه مناطق الانتثار العكسي الراداري المنخفض، ويعادل الحد الأدنى من الانعكاسية، وهو مقياس خضع للبحث في الإصدارات السابقة من هذه التوصية.

:dBZ: هي "وحدة" لانعكاسية الرادار تستخدم في الأرصاد الجوية، وهي تمثل نسبة أسية لوغاريتمية (بالديسيبل، أي dB) لمعامل انعكاسية الرادار Z، تقاس بالقيمة  $1 \text{ mm}^6/\text{m}^3$ .

2 بدراسة تطبيق معايير جودة الأداء الواردة في الجدول 2 على الأدوات المستعملة في الاستشعار عن بعد النشط لطبقات المياه الجوفية للأرض والصفائح الجليدية والمحيطات والغلاف الجوي.

الجدول 2

معايير تيسر البيانات (%)		معايير التداخل		نوع الجهاز استشعار
عشوائي	منتظم	(dB) I/N	انحطاط الأداء	
95	99	10-	انحطاط بنسبة 10% في NESZ <sup>(1)</sup>	المسبار الراداري
95	99	6-	انحطاط بنسبة 10% في الانحراف المعياري للقدرة في البيكسل الواحد رادار استرجاع المكافئ المائي للثلج: خطأ بنسبة 10% في الحد الأدنى من المكافئ المائي للثلج المسترد	جهاز تصوير الرادار ذي الفتحة التركيبية
95	99	5-	انحطاط في قياسات الانتثار الخلفي المقيس للرادار لاستنتاج سرعة الرياح بنسبة 8%	مقياس الانتثار
95	99	3-	انحطاط في ضوضاء الارتفاع بنسبة 4%	مقياس الارتفاع
99,8	99,8	10-	زيادة في المعدل الأدنى لهطول الأمطار بنسبة 7%	رادار قياس هطول الأمطار
95	99	10-	انحطاط في الانعكاسية الدنيا للسحب بنسبة 10%	رادار رصد السحب

<sup>(1)</sup> للاطلاع على التفاصيل، انظر الفقرة 3.2 من الملحق 1 بهذه التوصية.

SWE: المكافئ المائي للثلج (Snow water equivalent)

فيما يخص النطاقات الموزعة على أساس ثانوي، لا ترد معايير التداخل إلا للدلالة على انحطاط الأداء فيما يتعلق بالخدمات ذات التوزيع الأولي.

الملحق 1

معايير جودة الأداء والتداخل للأجهزة استشعار الفضائية النشطة

جدول المحتويات

الصفحة

6	.....	1	مقدمة
6	.....	1.1	التداخل المنتظم والعشوائي
7	.....	2	أجهزة السبر الرادارية
7	.....	1.2	الخصائص التشغيلية لأجهزة السبر الرادارية
7	.....	2.2	معايير جودة أداء أجهزة السبر الرادارية

7	3.2	معايير التداخل لأجهزة السبر الرادارية.....	
8	3	أجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR).....	
8	1.3	معايير جودة أداء أجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR).....	
8	2.3	معايير التداخل لرادارات الفتحة التركيبية.....	
9	1.2.3	كسب المعالجة للضوضاء والتداخل الشبيه بالضوضاء.....	
10	2.2.3	كسب المعالجة لإشارات التداخل الأخرى.....	
12	3.2.3	حساب التداخل المسموح به.....	
13	4.2.3	معييار التداخل.....	
13	5.2.3	معييار التوافر.....	
13	3.3	رادارات استرجاع مكافئ مياه الثلج (SWE).....	
15	4	مقاييس الانتثار.....	
16	1.4	معايير جودة الأداء.....	
17	2.4	معييار التداخل.....	
19	5	مقاييس الارتفاع.....	
19	1.5	معايير جودة الأداء.....	
20	2.5	معايير التداخل.....	
21	6	رادار قياس هطول الأمطار.....	
	1.6	رادارات قياس الهواطل على أساس مهمة قياس الهواطل مزدوج التردد للبعثة الفضائية المعنية بالهواطل العالمية (GPM DPR).....	
22	1.1.6	أهداف جودة الأداء عند GHz 13,597/13,603.....	
24	2.1.6	معايير التداخل.....	
25	3.1.6	رادار قياس الهواطل GPM العامل في النطاق GHz 35.....	
25	7	رادارات رصد السحب.....	
25	1.7	معايير الأداء لرادارات رصد السحب في التردد GHz 94.....	
25	2.7	معايير التداخل لرادارات رصد السحب في التردد GHz 94.....	
25	3.7	معايير التيسر لرادارات رصد السحب.....	
26	8	منطقة القياس المعنية لتقييم التداخل المنهجي.....	
26	9	اعتبارات التداخل النبضي العابر.....	
26	1.9	تحديد قدرة الذروة العابرة لبعض مخططات التشكيل.....	
	10	المعلومات النمطية لأجهزة الاستشعار EESS (النشيطة) التي تستخدم في تحديد التأثير الناجم عن أنواع مختلفة من التداخل.....	
28			

## 1 مقدمة

من الضروري تحديد معايير جودة الأداء في أجهزة الاستشعار الفضائية النشطة من أجل إعداد معايير التداخل. وتستخدم معايير التداخل بدورها في تقييم ملاءمة أنظمة الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للمواقع وأجهزة الاستشعار النشطة التي تعمل في نطاقات ترددات مشتركة.

ويقدم هذا الملحق الأسس التقنية لإعداد معايير جودة الأداء والتداخل لأنماط مختلفة من أجهزة استشعار فضائية نشطة. ومن أنواع أجهزة الاستشعار أنظمة السبر وأجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحات التركيبية ومقاييس الانتشار ومقاييس الارتفاع وادارات قياس هطول الأمطار، وادارات رصد السحب.

وتستند المعايير إلى التصاميم الحالية والمخطط لها لأنظمة علوم أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء ومتطلبات التشغيل المرتبطة بها. وسيتعين فحص أنظمة علوم أجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء في المستقبل، بخلاف الأنظمة التي تتناولها هذه التوصية، لتحديد ما إذا كان بإمكانها قبول نفس مستويات الإشارات المتداخلة وما يرتبط بها من ظروف مكانية وزمانية.

وتجدر الإشارة إلى أن معايير أداء العديد من أنواع أجهزة الاستشعار النشطة، بما في ذلك معايير أجهزة السبر الرادارية وأجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية، يعبر عنها بمكافئ ضوضاء السيغما صفر (NESZ)، وهو مقياس لعتبة الضوضاء التي تقيس حساسية النظام تجاه مناطق الانتشار العكسي الراداري المنخفض. وهذا المقياس يعادل الحد الأدنى من الانعكاسية الذي سبق استخدامه في النسخ السابقة من هذه التوصية.

### 1.1 التداخل المنتظم والعشوائي

تنص الفقرة توصي 2 بتطبيق معايير التداخل وتيسر البيانات الواردة في الجدول 2 بالنسبة للأدوات المستعملة في الاستشعار النشط لسطح الأرض والمحيطات والغلاف الجوي. ويقدم الجدول 2 معايير توافر البيانات من حيث انطباقها على نوعين من التداخل: التداخل المنتظم والعشوائي.

يُعرّف التداخل النظامي بأنه التداخل الذي يحدث بشكل متكرر في نفس الموقع. وعند وجود تداخل منتظم، ينبغي تطبيق معايير توافر البيانات الواردة في الجدول 2 بنسبة 99% على جميع أنواع أجهزة الاستشعار باستثناء رادار هطول الأمطار الذي تنطبق عليه نسبة 99,8%.

ويشمل تطبيق التوافر النظامي للبيانات على تحليلات التقاسم والتوافق أولاً لتحديد التداخل قيد التحقيق من حيث تكراره في القياس المتكرر للمحاسيس لموقع معين. وإذا تبين أن التداخل قيد التحقيق يتكرر بانتظام في قياسات أجهزة الاستشعار لنفس الموقع، وإن كان من المحتمل أن يكون مع أنواع مختلفة من الإشارات الصادرة من ذلك الموقع (مثل رادارات قفزات التردد؛ وادارات المسح)، فإن التداخل يعتبر تداخلاً نظامياً؛ ولذلك، ينبغي استخدام معيار توافر بيانات التداخل النظامي في تقييم نتائج الدراسة.

توصّف التداخلات العشوائية بأنها أحداث تداخل تسبب انقطاعات فردية قصيرة (أي معظم الانقطاعات التي تدوم ثانيتين أو أقل) تُوزع عشوائياً على جميع أوقات ومناطق الرصد. ولأغراض تحليلات التقاسم والتوافق التي تجرى، ينطبق ذلك على وقت الرصد ومنطقة القياس المختارة لتقييم معايير توافر البيانات. والتداخل العشوائي له عواقب أقل خطورة من التداخل النظامي، بحيث تكون معايير توافر البيانات العشوائية في وجود تداخل عشوائي بنسبة 95% باستثناء رادارات قياس الأمطار، حيث تكون بنسبة 99,8%.

ويشمل تطبيق توافر البيانات النظامي على تحليلات التقاسم والتوافق أولاً لتحديد نوع التداخل قيد التحقيق، سواء كان نظامياً أو عشوائياً. ويجب أن يحدد التحليل بعد ذلك عدد أحداث التداخل التي تتجاوز معايير عتبة التداخل في منطقة القياس المعنية. وينبغي أن يوفر ملخص النتائج تقيماً لتلك النتائج فيما يتعلق بمعايير توافر البيانات المنطبقة.

## 2 أجهزة السبر الرادارية

يقدم هذا القسم معلومات عن معايير جودة الأداء والتداخل لأجهزة السبر الرادارية النشطة المحمولة في الفضاء في نطاق التردد 40-50 MHz. ويمكن استعمال معايير الأداء والتداخل في تحليل توافق عمل أجهزة السبر هذه مع الأنظمة في الخدمات الأخرى في هذا النطاق.

### 1.2 الخصائص التشغيلية لأجهزة السبر الرادارية

يجب أن يكون استعمال المسابير الرادارية لنطاق التردد 40-50 MHz في خدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشطة) وفقاً لقيود المنطقة الجغرافية والشروط التشغيلية والتقنية المحددة في القرار (WRC-23) 677.

### 2.2 معايير جودة أداء أجهزة السبر الرادارية

تستخدم أجهزة السبر الرادارية المحمولة في الفضاء عادة لإنتاج خرائط رادارية لطبقات الانتثار تحت السطح لتحديد وتوصيف رواسب المياه الجوفية والجليد. وتتمثل دلالة اختيار مدى التردد 40-50 MHz في التوفيق بين عمق الاختراق والاستبانة، ويمكن استخدامه لإتاحة خرائط تفصيلية للاستبانة المكانية لطبقات المياه الجوفية الضحلة التي يصل عمقها تحت السطحي إلى حوالي 100 متر في المناطق القاحلة، فضلاً عن تحديد تضاريس السطح البيئي القاعدي وتحديد سمك الغطاء الجليدي في حدود 3 كيلومترات إلى 5 كيلومترات.

ويتمثل الهدف من مهمة جهاز السبر الراداري المحمول في الفضاء هو إنتاج خريطة رادارية لتحت الأرض لمكافئ ضوئي NESZ مقداره -10 dB على عمق 100 متر أو إنتاج خريطة رادارية لغطاء جليدي تحت الأرض لمكافئ ضوئي للغطاء الجليدي مقداره -10 dB في حدود 3 كم إلى 5 كم.

### 3.2 معايير التداخل لأجهزة السبر الرادارية

في المناطق القاحلة، ينبغي أن يؤدي التداخل إلى انخفاض مكافئ الضوضاء NESZ بنسبة تقل عن 10% في 95% من مناطق عمل جهاز السبر الراداري المحمول في الفضاء على النحو المحدد في القرار (WRC-23) 677، في المناطق القاحلة على عمق 100 متر. وعند رسم خرائط سمك الصفيحة الجليدية، ينبغي أن يؤدي التداخل إلى انخفاض مكافئ الضوضاء NESZ بنسبة تقل عن 10% في 95% من مناطق عمل جهاز السبر الراداري المحمول في الفضاء على النحو المحدد في القرار (WRC-23) 677، وفي الصفائح الجليدية بسمك يتراوح بين 3 كم و5 كم. ويساوي الانحطاط بنسبة 10% في الحد الأدنى للانعكاسية نسبة التداخل إلى الضوضاء مقدراها -10 dB. وينشأ ذلك عن ملاحظة أن مكافئ الضوضاء NESZ يتفاوت بشكل متناسب مع  $S/N_{tot}$ ، حيث  $S$  هي قدرة الإشارة و  $N_{tot}$  هي إجمالي قدرة الضوضاء التي تتكون من الضوضاء الاسمية بالإضافة إلى المساهمات الناتجة عن التداخل، كل قدرة فيما يتعلق بعرض النطاق المعني. وبافتراض أن التداخل مستقل إحصائياً عن الضوضاء، يترتب على ذلك أن  $N_{tot} = N + I$ ، حيث  $N$  هي قوة الضوضاء الاسمية و  $I$  هي قوة التداخل. وعند مقارنتها بنسبة الإشارة إلى الضوضاء الاسمية  $S/N$ ، يختلف الانحطاط في NESZ بحسب  $I/(I + N)$ . ويترتب على ذلك أن الانحطاط بنسبة 10% يتوافق تقريباً مع نسبة التداخل إلى الضوضاء  $I/N$  البالغة -10 dB. ويساوي معيار التداخل هذا مستوى قدرة تداخل قدره -144 dBW على نطاق 10 MHz، بافتراض أن درجة حرارة ضوضاء النظام تساوي 290 K.

وبغية تحقيق أهداف المهمة، يجب ألا تتجاوز هذه المستويات نسبة 1% من المناطق المعنية إذا كان التداخل يحدث بصورة منتظمة، ونسبة 5% إذا كان التداخل يحدث عشوائياً.

### 3 أجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR)

يعرض هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لأجهزة استشعار رادارات التصوير النشطة المحمولة في الفضاء في النطاقات MHz 438-432 و MHz 1 300-1 215 و MHz 3 300-3 100 و MHz 5 570-5 250 و MHz 8 650-8 550 و MHz 10 400-10 200 و MHz 13,25-13,75 و MHz 17,3-17,2 و MHz 36-35,5. ويمكن استعمال معايير جودة الأداء والتداخل في تحليل توافق عمل أجهزة استشعار رادار التصوير النشط المحمول في الفضاء مع أنظمة الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للمواقع، وكذلك الأنظمة من الخدمات الأخرى في هذه النطاقات.

#### 1.3 معايير جودة أداء أجهزة تصوير الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR)

تُستعمل الرادارات ذات الفتحة التركيبية (SAR) عادةً من أجل الحصول على خرائط تصويرية بالرادار للتضاريس على الأرض حيث تُنشئ حركة المركبة الفضائية فتحة تركيبية على مدى زمن نمطي للفتحة لا يزيد على 0,2-10 ثوان. وأي إشارات تتداخل أثناء زمن الفتحة هذا إنما تؤثر على المسح التصويري للمنطقة المصورة. وكثير من الرادارات ذات الفتحة التركيبية تقوم أساساً بتصوير اليابسة وتلائم اليابسة مع الماء عند الشواطئ. ويختار الباحثون عدداً محدوداً من المواقع المختارة لمسحها على مدى زوايا الرؤية مع الاختلاف البسيط الذي يحدث في تكرار المدار كل 1-14 يوماً. ومن شأن أي تداخل يؤثر على بيانات قياس الرادارات SAR المتحصل عليها من موقع مرصود على الأرض أثناء أي من القياسات المأخوذة بزوايا رؤية مختلفة، سيؤثر ذلك سلباً على أداء القياس العام. ومن استخدامات الرادارات SAR إنتاج خرائط طبوغرافية يمكن استخدامها في نماذج الارتفاع الرقمية. وتستخدم بعض الرادارات SAR مقياساً للتداخل عند كل دورة من دورات المرور من أجل إنتاج خرائط طبوغرافية على ممرين. ومن شأن التداخل على أي ممر من الممرين أن يؤثر سلباً على الأداء.

وتتطلب مهمة التصوير الطبوغرافي بواسطة رادار الفتحة التركيبية SAR التقاط 99% على الأقل من البيانات المحتملة من مواقع مختارة على الأرض أو على مواقع التماس بين اليابسة والمحيطات. وهذا الجزء من خسارة البيانات هو جزء منفصل عن مصادر الخسارة الأخرى مثل التي تعود إلى أنظمة المركبات الفضائية، أو الأدوات المركبة في رادار الفتحة التركيبية.

والمطلوب هو توافر 99% من البيانات عن طريق رادار الفتحة التركيبية، بافتراض أن الخسارات هي قصيرة المدى وعشوائية على مدى فترة التقاط البيانات ومناطق التقاطها. ومع ذلك، ينبغي تطبيق شرط التوافر بنسبة 99% على كل من الخيارين بناءً على النسبة المئوية لمنطقة الاهتمام المعرضة للخطر، وكذلك على أوقات المراقبة التي تتعرض فيها القياسات للخطر. وخاصة بالنسبة للأجهزة المدارية القطبية، حيث يُستغرق قسط كبير من الوقت المخصص للمراقبة في المناطق في خطوط العرض المرتفعة، مما قد يؤدي إلى التقليل من تقدير التداخل في مناطق أخرى إذا كان وقت المراقبة هو المعيار الوحيد للتوافر. وجدير بالإشارة إلى أن تحديد ما إذا كان من الممكن استيفاء شرط التوافر بنسبة 99% هو تحليل بسيط نسبياً؛ بيد أن تحليل الانقطاعات بسبب خصائص الانتثار العشوائي عبر جميع مناطق وأوقات المراقبة هو أمر صعب. ويمثل التداخل في موقع جغرافي معين وعلى أساس منتظم مصدر قلق بالغ الأهمية، خاصة عندما يحدث في أحد المواقع محل اهتمام الباحث، حيث قد تجري فيها في نفس الوقت تجارب على أرض الواقع أو تجارب للتحقق من البيانات. ويمكن للتداخل في موقع جغرافي معين لمهمة التصوير SAR أو المسح الطبوغرافي أن يتسبب في وجود ثغرة في خريطة التغطية العالمية.

#### 2.3 معايير التداخل لرادارات الفتحة التركيبية

تم تحديد معايير التداخل لرادارات التصوير المحمولة في الفضاء باعتبارها نفس المعايير الواردة في الجدول 2. وفي هذا الجدول، تُعرف معايير التداخل لرادارات الفتحة التركيبية باعتبارها نسبة التداخل إلى الضوضاء عند -6 dB، وهي تمثل 10% من انحطاط قياس الانحراف المعياري لقدرة رادار الفتحة التركيبية بالبيكسل. ويمكن ملاحظة ذلك من خلال معرفة أن الانحراف المعياري لقدرة بكسل للرادار SAR يختلف بالتناسب مع  $\sqrt{S/N_{tot}}$ ، حيث  $S$  هي قدرة الإشارة و  $N_{tot}$  هي إجمالي قدرة الضوضاء التي تتكون من الضوضاء الاسمية زائداً المساهمات الناتجة عن التداخل. وبافتراض أن التداخل مستقل إحصائياً عن الضوضاء، يترتب على ذلك أن  $N_{tot} = N + I$ ، حيث  $N$  هي قدرة الضوضاء الاسمية و  $I$  هي قدرة التداخل. وعند مقارنة الانحراف المعياري بالنسبة الاسمية  $S/N$ ، يختلف

الانحراف المعياري لقوة بكسل SAR بحسب  $\sqrt{1/(1+I/N)}$  ويترتب على ذلك أن الانحطاط بنسبة 10% يساوي تقريباً نسبة التداخل إلى الضوضاء  $I/N$  البالغة -6 dB.

ويمكن أن يزداد مستوى التداخل عن هذا الحد باعتبار أثر تخفيف التداخل الناتج عن التمييز في المعالجة في الرادار SAR وخصائص تشكيل الأنظمة العاملة في النطاق المتقاسم. وبغية تحقيق أهداف المهمة، يجب ألا تتجاوز هذه المستويات نسبة 1% في المناطق المعنية إذا كان التداخل يحدث بصورة منتظمة، ونسبة 5% إذا كان التداخل يحدث عشوائياً.

وتجدر الإشارة إلى أن تطبيق معايير التداخل على نسبة الصور المتأثرة قد يؤدي إلى التقليل من تقدير التداخلات في المناطق غير القطبية فيما يخص المعدات التي قضت قسماً كبيراً من الوقت فوق المناطق القطبية بسبب مدارها. ولذلك، يُقترح تطبيق المعايير على كل من النسب المنوية للصور المتأثرة (أوقات المراقبة المتأثرة) ومجالات الاهتمام المتأثرة.

ويتم معالجة البيانات الخام للرادار SAR من حيث المدى والسمت من أجل إنتاج صورة رادارية. وتوزع نقاط العودة المستهدفة بشكل خطي في التردد في بُعدي المدى والسمت. ويقوم المعالج بالربط بين البيانات في البُعدين، ويتراوح كسب المعالجة عادة بين 20 dB و 40 dB للصدى الراجع. أما إشارات الضوضاء والتداخل فلها كسب معالجة أقل بكثير. وكسب المعالجة لضوضاء المستقبل هي 0 dB تقريباً من حيث المدى. ولإشارات التداخل عند نفس مستوى الدخل للضوضاء درجات مختلفة من كسب المعالج حسب نوع تشكيل شكل الموجة.

### 1.2.3 كسب المعالجة للضوضاء والتداخل الشبيه بالضوضاء

تتكون ضوضاء النظام، كما هي عند بوابة الهوائي، أساساً من ضوضاء الهوائي وضوضاء المستقبل الأمامي. ويمكن عمل نموذج لهذه الضوضاء باعتبارها عملية ضوضاء بيضاء وثابتة وخطية. وروابط المعالج هو من حيث المبدأ مرشح يناسب النبضات الخطية FM أو الزرقية. ويبلغ كسب معالجة المدى للضوضاء 0 dB. ويبلغ كسب معالجة السمت  $N^2$  للتكامل المتناسك للدورات  $N$  أثناء الفتحة التركيبية  $N$  للضوضاء. وهناك حاجة إلى زمن التكامل للفتحة التركيبية وتردد مناسب لتكرار النبض (PRF) من أجل معالجة البيكسلات في حجم استبانة معين في السمت  $\rho_{AZ}$ . ويُحسب ذلك على النحو التالي:

$$G_{NAZ} = T_I PRF$$

$$T_I = \frac{\lambda R_S}{v L_{eff}}$$

$$PRF = 1.2 \frac{v}{\rho_{AZ}} \quad (\text{بافتراض أسلوب خريطة شريطية})$$

حيث:

$G_{NAZ}$ : كسب معالجة السمت للضوضاء

$T_I$ : زمن التكامل لسمت الرادار ذي الفتحة التركيبية

$PRF$ : تردد تكرار النبض

$\lambda$ : طول الموجة

$R_S$ : المسافة المائلة

$v$ : سرعة منصة المركبة الفضائية

$L_{eff}$ : طول الهوائي الفعلي في السمت

$\rho_{AZ}$ : استبانة السمت.

وعلى سبيل المثال، بالنسبة لرادار ذي فتحة تركيبية بعرض نطاق 600 MHz مع هوائي قطره 3 أمتار بالقرب من 9,6 GHz، بأسلوب خريطة شريطية،  $\lambda = 0,03125$  m،  $R_S = 535,8$  km عند زاوية ورود  $20^\circ$  و  $v = 7,05$  km/s و  $L_{eff} = 1,56$ ؛ إذاً  $T_I = 0,8$  s. وإذا كانت  $\rho_{AZ} = 1$  m، إذاً  $PRF = 8\,460$  Hz، ويكون كسب معالجة السمات للضوضاء  $G_{NAZ}$  هو 38 dB.

وبالنسبة للرادار ذي الفتحة التركيبية نفسه الذي يستخدم عرض نطاق قدره 1,2 GHz في أسلوب الإضاءة الموضعية، سيكون وقت التكامل في السمات أكثر أهمية إذا كانت الحزمة الرئيسية للرادار ذي الفتحة التركيبية تضيء المنطقة المستهدفة أثناء 3 ثوان وكان تردد تكرار النبض هو 6 000 MHz، فإن كسب المعالجة السماتية يصبح 42 dB.

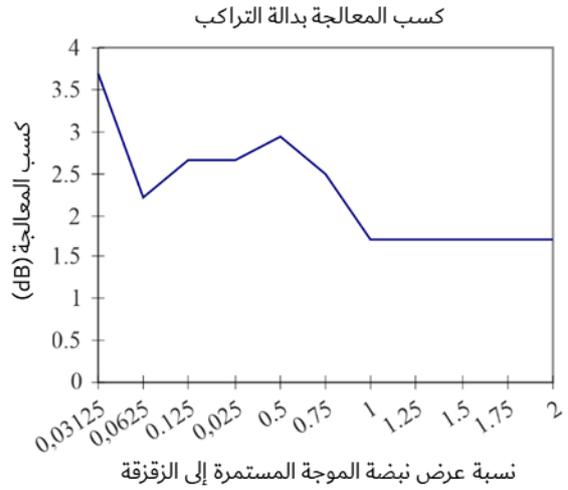
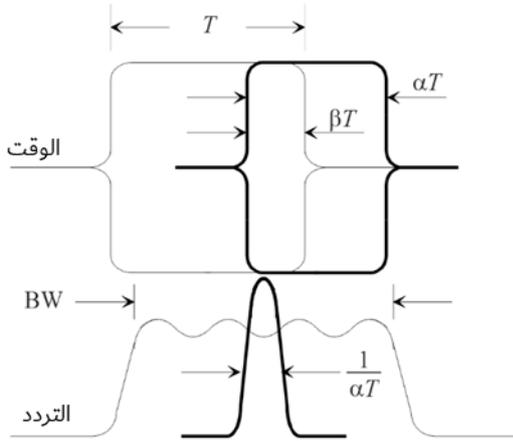
### 2.2.3 كسب المعالجة لإشارات التداخل الأخرى

#### 1.2.2.3 كسب معالجة المدى للتداخل النبضي في الموجة المستمرة (CW)

بافتراض أن التردد المركزي لإشارات الموجة المستمرة للتداخل النبضي يقع في إطار تردد نطاق المعالجة فإن كسب المعالجة للتداخل الناتج عن الضوضاء يختلف باختلاف النسبة المثوية لعرض تراكب نبض الموجة المستمرة بالنسبة إلى العرض الخطي للنبض FM، كما هو مبين في الشكل 1.

الشكل 1

#### خصائص الوقت والتردد لطول الموجة والنبض



RS.1166-01

وبافتراض أن عرض نبض التداخل أقل من عرض نبض طول الموجة وأنه مغلف بطول الموجة (أي أن  $\beta = \alpha$ )، فإن الشكل 1 يبين كسب المعالجة بالنسبة إلى عرض النبض النسبي.

#### 2.2.2.3 كسب معالجة المدى لإشارات التداخل غير النبضي للموجة المستمرة

يُفترض أن التردد المركزي للتردد الراديوي (RF) لإشارة التداخل غير النبضي من الموجة المستمرة (CW) سيكون في نطاق تردد المعالجة. ويكون كسب المعالجة للموجة المستمرة (CW) هو 1,7 dB عند تساوي مستوى إشارة التداخل ومستوى الضوضاء. وفي كل بيكسل للصورة، وهو ما ينطبق على إشارة التداخل النبضي للموجة المستمرة التي لها نفس عرض النبض الزققي، تكون نسبة العرض هي 1.

### 3.2.2.3 كسب معالجة المدى لإشارات التداخل على التردد الخطي

يُفترض أن طيف التداخل على التردد الخطي FM يقع ضمن نطاق تردد المعالجة، وأن نبض التداخل يتراكب مع نبض رجوع الصدى كما هو موضح في الشكل 1.

لنفرض أن الإشارة الزرقية  $f(t)$  تمثلها المعادلة التالية:

$$(1) \quad f(t) = \text{rect}(t/T_1) e^{j2\pi f_0 t + j\pi \mu t^2}$$

حيث:

$\text{rect}(t)$ : هي دالة مثلث العرض الأحادي

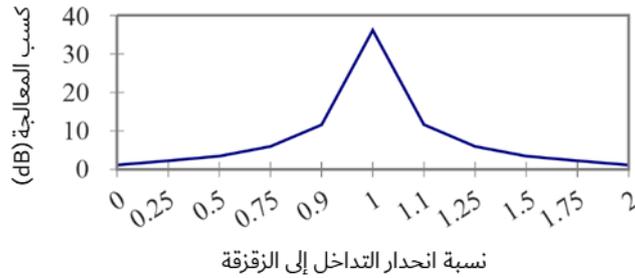
$f_0$ : هو تردد الموجة الحاملة

$\mu$ : هي الانحدار.

ويختلف كسب المعالجة لنبض التداخل باختلاف نسبة الانحدار  $|\mu|/|\mu|$  لنفس عرض النبض تقريباً (أي أن  $\alpha = 1$ ) كما هو مبين في الشكل 2. وانحدار نبض التداخل هو  $|\mu|$  وانحدار زققة الرادار هو  $\mu$ .

#### الشكل 2

#### كسب المعالجة للتداخل على التردد الخطي FM



RS.1166-02

### 4.2.2.3 كسب معالجة المدى لأشكال موجات التداخل/تشكيل تداخل الرادار الأخرى

الرادارات الأرضية التي تسبب التداخل لها أشكال موجات/تشكيلات مختلفة، منها شفرات باركر والترددات FM غير الخطية، إلخ. ويمكن نمذجة كل من هذه الأشكال، وحساب كسب المعالجة بالنسبة إلى الضوضاء. وهذه التشكيلات ليست مشمولة هنا. وتجدد الإشارة إلى أن أقصى كسب معالجة لأشكال أو تشكيلات موجية نبضية أخرى لن يكون أكبر من كسب التداخل على تردد خطي FM (كما هو موضح في الشكل 2) بسبب الترشيح غير المطابق. ومع ذلك، ورغم أن كسب معالجة المدى ليس مشمولاً بالتفصيل هنا، فإن كسب المعالجة للسمت له صلة بأشكال الموجات النبضية تلك.

### 5.2.2.3 كسب المعالجة للسمت لإشارات التداخل النبضية

تُجرى معالجة السمت للرادار ذي الفتحة التركيبية (SAR) من خلال مجموع رجوع الصدى عند مرور إضاءة حزمة الهوائي على الأرض بالمنطقة المستهدفة. وكسب معالجة السمت هو  $N$  للضوضاء، من أجل تكامل النبضات  $N$  أثناء الفتحة التركيبية. وبالنسبة للنبضات المتداخلة يختلف تدرج الإشارة المتداخلة في كل نافذة مدى باختلاف الرجوع لأن إشارة التداخل النبضية وادار الفتحة التركيبية لهما تردد مختلف لتكرار النبضات. ويتبين من التحليلات السابقة باستعمال محاكاة نوافذ المدى المتتابعة وتجميع الرجوع أثناء

مهلة التكامل SAR بالنسبة للإشارة النبضية المتداخلة أن القدرة الآتية للذروة لنبضات التداخل المعالجة بالنسبة للسمت تختلف ما بين 0 dB و 9,5 dB.

### 3.2.3 حساب التداخل المسموح به

يمكن أن تختلف مستويات التداخل المسموح به المبينة أعلاه عندما يؤخذ في الاعتبار أثر تخفيف التداخل في تمييز المعالجة للرادار SAR وخصائص تشكيل الأنظمة التي تعمل في النطاق. ويمكن تحديد قدرة إشارة التداخل المسموح بها  $P_I$  من المعادلة التالية:

$$(2) \quad P_I = I/N \cdot P_N \cdot \frac{G_{NAZ}}{G_{IAZ}} \cdot \frac{G_{NRNG}}{G_{IRNG}}$$

حيث:

$I/N$ : النسبة المسموح بها للتداخل إلى الضوضاء عند خرج المعالج.

$P_N$ : قدرة الضوضاء عند بوابة الهوائي

$G_{NAZ}$ : كسب المعالجة للضوضاء عند السم

$G_{IAZ}$ : كسب المعالجة للإشارة المتداخلة عند السم

$G_{NRNG}$ : كسب المعالجة للضوضاء في المدى

$G_{IRNG}$ : كسب المعالجة للإشارة المتداخلة في المدى

ومجموع كسب المعالجة هو حاصل ضرب كسب المعالجة في المدى وكسب المعالجة في السم. وعادة ما يكون كسب معالجة المدى للتداخل بسيطاً، أي أقل من 4 dB؛ ومع ذلك، فإن كسب معالجة التداخل عند السم هي أقل منها للضوضاء بنحو 20 dB إلى 40 dB عادةً.

والمنهجية المستخدمة لتحديد الحد الأقصى المقبول للإشارة المسببة للتداخل هي كما يلي:

- (1) حساب قدرة ضوضاء الدخل  $P_N$  وفقاً لخصائص مستقبل نظام SAR.
- (2) حساب كسب معالجة المدى  $G_{NRN}$  وكسب معالجة السم  $G_{NAZ}$  للضوضاء على النحو الموصوف في الفقرة 1.2.3.
- (3) حساب كسب معالجة المدى  $G_{IRNG}$  وكسب معالجة السم  $G_{IAZ}$  للضوضاء على النحو الموصوف في الفقرة 2.2.3.
- (4) في حالة أن  $SNR = 0$  dB، فإن قدرة الضوضاء عند الخرج تساوي قدرة الإشارة. وبالنسبة لمعايير التداخل المسموح به  $I/N = -6$  dB، يتم الحصول على قدرة خرج الإشارة القصوى المسببة للتداخل بطرح 6 dB من قدرة ضوضاء الخرج.
- (5) يمكن تحديد قدرة الدخل القصوى المسموح بها لإشارة التداخل  $P_I$  من خلال المعادلة (2) باستخدام قيم  $P_N$  و  $G_{NRNG}$  و  $G_{IAZ}$  و  $G_{IRNG}$  و  $I/N$  المحسوبة في الخطوات من 1 إلى 4 أعلاه.

وعلى سبيل المثال، ففي حالة الرادار ذي الفتحة التركيبية العاملة على النطاق العريض في التردد 9,6 GHz الذي يتعرض للتداخل من رادار محمول جواً فإن كلا الرادارين يستعمل النبضات FM الخطية بانحدار زققي مختلف اختلافاً واسعاً. فالانحدار الزققي للرادار SAR هو 45-450 MHz/μs بينما الانحدار الزققي للرادار المحمول جواً هو 0,5 MHz/μs. وتبلغ نسبة الانحدار الزققي المتداخل إلى الانحدار الزققي للرادار SAR |μ/μ| من 0,001 إلى 0,01، بينما كسب المعالجة للمدى المناظر يبلغ نحو 2,3 dB كما يتضح من الشكل 2. وإذا كانت النسبة  $I/N$  المسموح بها تساوي  $-6$  dB و  $P_N = -83,7$  dBم و  $G_{NAZ}/G_{IAZ} = 38$  dB و  $G_{NRNG}/G_{IRNG} = 2,3$  dB، ففي هذه الحالة لا تتجاوز  $P_I$   $-54$  dBم. ونظراً إلى أن كسب معالجة المدى للإشارة هو  $44$  dB، وقيمة كسب معالجة السم هي ضعف قيمة الضوضاء، فيمكن حساب قدرة الدخل للحد الأدنى للإشارة المطلوبة على أنها  $-165,7$  dBم. ويبين الجدول 3 حساب نتائج كسب المعالج للضوضاء وأدنى إشارة رجوع صدى مرغوبة ( $SNR = 0$  dB) والإشارة القصوى المسببة للتداخل في حالة SAR في التردد 9,6 GHz، المعرضة للتداخل من إشارات من رادار محمول جواً.

## الجدول 3

كسب معالجة المدى وكسب معالجة السميت للضوضاء، والإشارة، والتداخل، للرادار SAR بتردد 60 MHz  
بأسلوب خريطة شريطية عند التردد 9,6 GHz بنبضة 50  $\mu$ s

قدرة الدخل (dBm)	كسب معالجة السميت (dB)	كسب معالجة المدى (dB)	قدرة الدخل (dBm)	نوع الإشارة
45,7-	38	0,0	83,7-	الضوضاء
45,7-	76	44	165,7-	الإشارة المرغوبة الدنيا
51,7-	0,0 إلى 9,5	2,3	54- إلى 63,5-	الحد الأقصى المقبول لإشارة رادارية مسببة للتداخل

وجدير بالإشارة إلى أنه وفقاً للمعادلة (2) لا يوجد تأثير لكسب معالجة SAR على التداخل الشبيه بالضوضاء مثل التداخل الذي قد يكون بسبب كثافة عالية من مرسل عريض النطاق على الأرض. وفي الواقع، في هذه الحالة  $dB\ 0 = G_{NAZ}/G_{IAZ}$  و  $dB\ 0 = G_{NRNG}/G_{IRNG}$  مما يؤدي إلى مؤشر أداء ينبغي ألا يتجاوز -89,7 dBm.

## 4.2.3 معيار التداخل

يمكن حساب معايير الانحطاط غير المقبول في الأداء لرادارات الفتحة التركيبية لقياس التداخل التصويري أو الطبوغرافي باستعمال الإجراء الوارد في الفقرة 3.2.3.

وتنطبق هذه المعايير على مصادر التداخل النبضي في غير التردد FM التي لا تزيد فيها مدة النبض عن 2  $\mu$ s. ولا تختلف المعايير بالنسبة لمدد النبض الأخرى إلا في حدود  $\pm 0,6$  dB.

وتجدر الإشارة إلى أنه بالنسبة لكل رادار ذي فتحة تركيبية، يجب حساب مستوى معيار تداخله باستخدام خصائص نظام ذلك الرادار ذي الفتحة التركيبية.

## 5.2.3 معيار التوافر

في نطاقات التردد المتقاسمة ينبغي أن يزيد تيسر بيانات الرادار SAR عن 99% لجميع مواقع مناطق القياس المختارة.

## 3.3 رادارات استرجاع مكافئ مياه الثلج (SWE)

يقدم هذا القسم معلومات عن أداء معدات استرجاع مكافئ مياه الثلج في نطاق التردد 13,75-13,25 GHz و 17,3-17,2 GHz. والأساس المادي لتقدير SWE من قياسات SAR ثنائية التردد التي أجريت في نطاق التردد 13,5 و 17,2 GHz على المستوى المحلي (استبانة 50 متراً إلى 500 متر) هو الانتشار في حبيبات الثلج التي يقاس حجمها بالملليمترات. ولتحقيق استرجاع دقيق لمكافئ ماء الثلج SWE، يلزم نمذجة النقل الإشعاعي لحجم الثلج إلى جانب النمذجة المادية لسطح الأرض. ويكون استرجاع SWE ناجحاً بتقليل دالة التكلفة بين شدة الانتشار العكسي المقاسة والنمذجة:

$$(3) \quad F = \left\{ \sum_{i=1}^N \frac{w_i}{2s_i^2} (\sigma_i^{\text{obs}} - \sigma_i^{\text{model}}(\text{SWE}, x))^2 + \frac{w_x}{2s_x^2} (x - \bar{x})^2 \right\}$$

حيث:

$\sigma_i^{\text{obs}}$ : الانتشار العكسي المرصود عند القناة  $i$ -th (أي لتردد واستقطاب معينين)

$\sigma_i^{\text{model}}$ : تشتت الحجم المتوقع الذي تم نمذجته بواسطة نظرية النقل الإشعاعي

$s_i$ : خطأ الانحرافات المعيارية لقياسات الرادار.

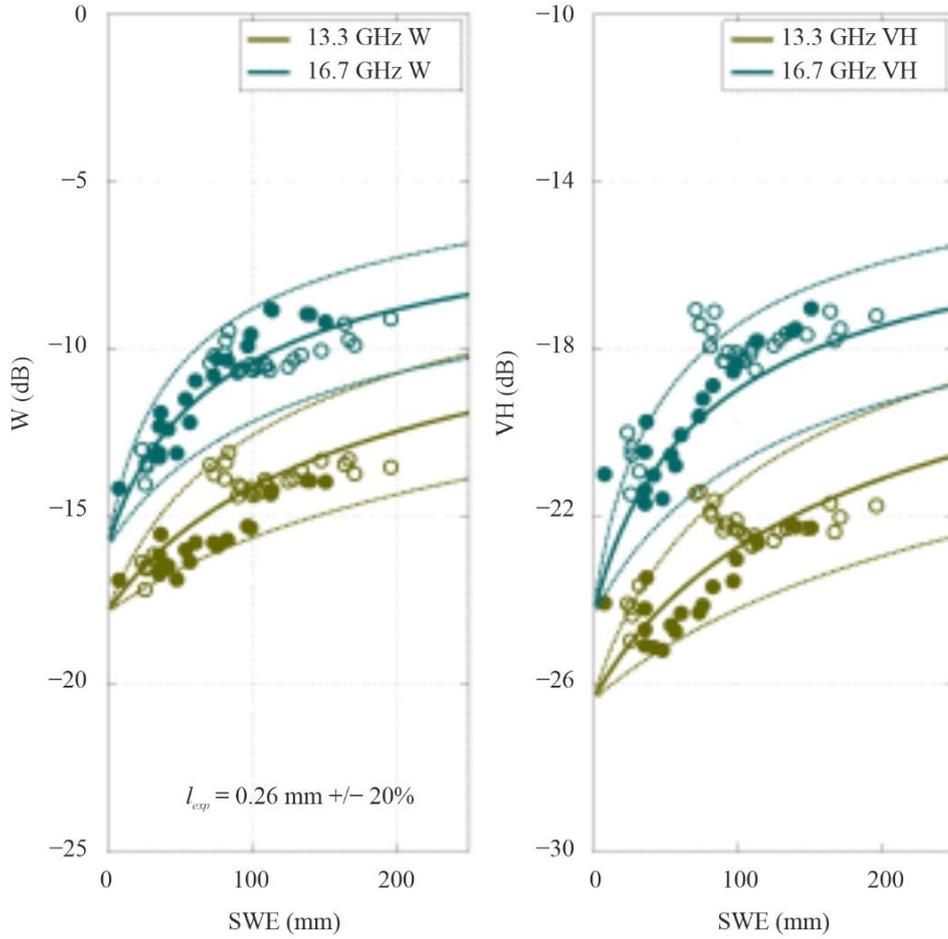
تتكون معلمات الثلج  $x$  لطبقة ثلجية معينة من: عمق الثلج وكثافة الثلج ودرجة حرارة الثلج ومحتوى السائل بالثلج وحجم حبيبات الثلج.  $s_x^2$  هو تباين القيود المسبقة على معلمات الثلج. ونظراً لأن هذا النهج يحتوي على مجهولات أكثر مما يحتوي على قيم مرصودة (سيكون للمهمة النموذجية أربع ملاحظات لخصائص الثلج  $5 \times N$  حيث  $N$  هو عدد طبقات الثلج)، يُستخدم نهج بايزي، مثل نماذج تحسين سلسلة ماركوف مونت كارلو (MCMC) لتحديد خصائص الثلج المختلفة التي تكرر إشارة الانتشار العكسي SAR.

ولضمان عدم تقريب نموذج MCMC إلى الحد الأدنى المحلي لخصائص الثلج غير الواقعية، يتم البدء بمعرفة مسبقة مستقاة من معلومات الثلج متعددة الطبقات المستخرجة من نماذج سطح الأرض. وتعمل مخرجات نموذج سطح الأرض كمدخلات أولية لنماذج MCMC ولكن لا يمكن استخدامها مباشرة لتقدير SWE على المستوى المحلي لأن مخرجات نموذج سطح الأرض يتم إنشاؤها على مقياس الكيلومترات. وسيتمكن نموذج MCMC بعد ذلك من تحسين حالات الثلج على مقياس الكيلومتر إلى حالات الثلج المحلية من خلال التقريب إلى القيم التي تكرر التشتت العكسي 13,5 و 17,2 GHz.

وسيقوم رادار استرجاع SWE النموذجي باسترجاع SWE بدقة 30 مم RMSE (~10% خطأ في ذروة SWE في المتوسط) للمناطق غير الألب وخطأ بنسبة 25% لمناطق الألب بسبب التحديات الكامنة الإضافية المرتبطة بالعمل مع بيانات SAR في تضاريس متغيرة للغاية. ومن المعادلة (3)، سيؤثر الخطأ المباشر في إشارة الانتشار العكسي تأثيراً مباشراً على دقة SWE المسترجعة دون مراعاة أي أخطاء أخرى ناتجة عن تقديرات حالة الثلج من مخرجات نموذج سطح الأرض. وهذا هو السبب في أن رادار استرجاع SWE النموذجي يهدف إلى أن يكون استقرار إشارة الانتشار العكسي  $> 0,5$  dB وأن تكون الدقة المطلقة  $> 1$  dB عند 13,5 GHz و  $> 0,5$  dB عند 17,2 GHz. ويعد اشتراط أن تكون الدقة المطلقة أعلى عند 17,2 GHz ضرورياً بسبب الحساسية العالية لإشارة الانتشار العكسي عند هذا التردد تجاه حجم الثلج (انظر الشكل 3). وبما أن الانتشار الحجمي هو آلية الانتشار السائدة في القناة ذات الاستقطاب المتقاطع (VH) لكلا الترددات، يجب أن يكون مكافئ الضوضاء NESZ أقل من -25 dB و -26 dBm للترددات 13,5 GHz و 17,2 GHz على التوالي، من أجل التقاط مكون الانتشار الحجمي للكتلة الثلجية.

## الشكل 3

قياسات الانتثار العكسي القائم على الأبراج للثلوج عند 13,3 و 16,7 GHz لقيم مختلفة لمكافئ ماء الثلج SWE



RS.1166-03

ملاحظة متعلقة بالشكل 3: تقع قياسات 16,7 GHz خارج مدى 17,2-17,3 GHz. ومع ذلك، فإن هذه القياسات وحساسيتها لمكافئ ماء الثلج SWE لا تزال مهمة لمدى التردد هذا.

كما أظهرت التجارب الميدانية التي تستخدم قياسات SAR المحمولة جواً عند 13,3 GHz و 16,7 GHz أن التداخل القادم من أهداف المعايرة مثل عاكسات الزاوية ثلاثية السطوح، يمنع استرجاع SWE بدقة داخل دائرة نصف قطرها 100 متر من الهدف بسبب قياسات الانتثار العكسي أعلى مما هو متوقع من خصائص الثلج المقاسة على الأرض. ويجري حالياً بذل المزيد من العمل من أجل تقييم تأثير ارتفاع مكافئ الضوضاء NESZ (أعلى من -25 dB و -26 dB بالنسبة إلى 13,5 و 17,2 GHz، على التوالي) وخطأ كبير في قياس الانتثار العكسي لدقة استرجاع SWE.

## 4 مقاييس الانتثار

يعرض هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لمقاييس الانتثار المحمولة جواً في نطاقات التردد 1,3-1,215 GHz و 5,57-5,25 GHz و 8,65-8,55 GHz و 10,4-9,2 GHz و 13,75-13,25 GHz و 17,3-17,2 GHz و 36,0-35,5 GHz. وهو يعرض معايير الأداء والتداخل لمقاييس الانتثار النشطة المحمولة في الفضاء التي يمكن استخدامها في تحليل مواءمة مقاييس الانتثار النشطة المحمولة في الفضاء ونظم الملاحظة الراديوية ونظم التحديد الراديوي للمواقع العاملة في هذه النطاقات.

إن كل بث راديوي غير مطلوب يصل إلى حدود مستقبل مقياس الانتثار كفيل بإلحاق الضرر بنتائج قياس المعلمة ( $\sigma_0$ ). وهي معامل الانتثار الخلفي المقيس للرادار. ويتوقف مستوى الأخطاط على إحصاءات التداخل الخارجي.

#### 1.4 معايير جودة الأداء

تقدر أولاً قدرة إشارة رجع الصدى في أنظمة مقياس الانتثار عن طريق قياس القدرة "الإشارة + الضوضاء" (أي رجع الصدى + ضوضاء النظام)، ثم طرح قدرة "الإشارة فقط" (تقدير ضوضاء النظام فقط أو "الضوضاء الدنيا"). وتضم ضوضاء النظام الإرسالات الحرارية الصادرة عن الأرض وكذلك الصادرة عن الهوائي، وعن دليل الموجات، وضوضاء المستقبل. ولكي يصل أداء النظام إلى حالته المثلى تتخذ قياسات "الإشارة + الضوضاء" و"الضوضاء فقط" على عروض مختلفة للنطاق و/أو في ساعات مختلفة. ويرر هذا الإجراء أن الضوضاء الاسمية الداخلية للنظام بيضاء خلال تتابع القياس (ثابتة مع توزيع مستوٍ للقدرة الطيفية).

وعند وجود تداخل خارجي تكون ضوضاء الخلفية المركبة الجديدة هي مجموع التداخل والضوضاء الاسمية للنظام. وبالنظر إلى النطاقات الضيقة التي تستخدمها مقاييس الانتثار، قد يكون من الممكن تقريب الضوضاء إلى ضوضاء بيضاء. ومع ذلك، حسب قوة مصدر التداخل وتشكيله ومخطط كسب الهوائي وهندسته، قد لا تكون الضوضاء المركبة بيضاء خلال تتابع القياس. وفي هذه الحالة يختلف قياس "الضوضاء فقط" عن الضوضاء في قياس "الإشارة + الضوضاء" وينتج عن ذلك أخطاء في تقدير المعلمة  $\sigma_0$ .

ويمكن حساب الخطأ التقديري للمعلمة  $\sigma_0$  الذي ينتج عن خطأ قياس "الضوضاء فقط" عن طريق المعادلة التالية:

$$(4) \quad \sigma_0 \text{Error (dB)} = 10 \log[1 + (\alpha - 1)/SNR \sigma_0]$$

حيث:

$$\sigma_0 \text{ (dB)} = 10 \log (S/N) \text{ SNR نسبة الإشارة إلى الضوضاء في عملية تقدير قياس المعلمة } \sigma_0$$

وحيث:

S: كثافة طيفية لقدرة رجع الصدى.

N: كثافة طيفية لقدرة الضوضاء الاسمية الدنيا (حوالي -200 dB(W/Hz) عند دخل مستقبل مقياس الانتثار في حالة هوائي الحزمة (المروحية كما في حالة هوائي الحزمة النقطية).

و

$$(5) \quad \alpha \text{ (dB)} = 10 \log([N + (I_{s+n}/B_{s+n})]/[N + (I_n/B_n)])$$

وحيث:

$I_{s+n}$ : متوسط قدرة المصدر المسبب للتداخل في  $B_{s+n}$  أثناء فترة قياس "الضوضاء + الإشارة"

$B_{s+n}$ : عرض نطاق القياس "الإشارة + الضوضاء"

$I_n$ : متوسط قدرة المصدر المسبب للتداخل في  $B_{s+n}$  أثناء فترة قياس "الضوضاء + الإشارة"

$B_n$ : عرض نطاق "الضوضاء فقط".

إن تأثير التداخل الخارجي هو الأكثر حساسية في حالة سرعات الرياح الضعيفة. وتبلغ السرعة الدنيا للرياح التي ينبغي لمقياس الانتثار الفضائي قياسها 2 أو 3 m/s اعتماداً على النطاق. وقد أظهرت عمليات المحاكاة على الحاسوب لتداخلات غير ثابتة في مقياس انتثار NSCAT أن القيمة القصوى  $\alpha$  (انظر المعادلة (5)) التي تتيح التقيد بمعايير جودة الأداء بالنسبة إلى سرعة رياح بمعدل 3 m/s هي 0,7 dB. ويعرّف التداخل بأنه غير ثابت عندما تكون حالات حدوث دينامية وتختلف إحصاءاته مع الوقت ولا تظهر مخططات طيفية أو مخططات اتساع أو مخططات طور أو مخططات زمنية متسقة.

ويمكن تزويد مقاييس الانتثار مستقبلاً بهوائيات بحزمة نقطية بدلاً من هوائيات الحزمة المروحية كما في حالة المقاييس من النمط NSCAT. والاختلافات الرئيسية بين نمطي مقاييس الانتثار، إضافة إلى مخطط بث الهوائي، هي القدرة e.i.r.p. عند الإرسال وكسب هوائي الاستقبال. وأظهرت عمليات محاكاة على الحاسوب أجريت لأغراض التداخل غير الثابت أن القيمة القصوى لـ  $\alpha$  = 6 dB (انظر المعادلة (5)) يمكن السماح بها مع هوائي بحزمة نقطية لأنه في هذه الحالة يتم التقيد بأهداف جودة الأداء في حالة سرعة الرياح بمعدل 3 m/s.

والنسبة المئوية المسموح بها في خسارة بيانات مقاييس الانتثار والناجمة عن تداخلات تسببها محطات مرسله موزعة بشكل عشوائي فوق المحيطات هي 5% لجميع البيانات المجمعة فوق المحيطات أجمعها.

وتجدر الإشارة إلى أنه على الرغم من أن تحديد ما إذا كان يمكن استيفاء شرط التوافر بنسبة 95% هو تحليل بسيط نسبياً، بيد أن تحليل الانقطاعات بسبب خصائص الانتثار العشوائي عبر جميع مناطق وأوقات المراقبة هو أمر صعب.

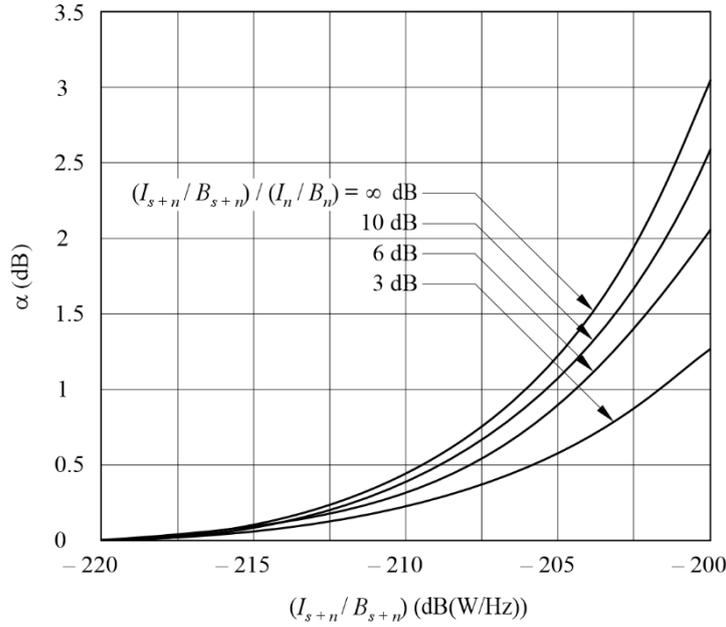
وفي حالة التداخل النظامي، تبلغ الخسارة المسموح بها 1%. والتداخل النظامي يعني خسارة بيانات القياس، أي التداخل الذي يتجاوز معايير حماية العتبة، في نفس المواقع الجيولوجية التي تم فيها الحصول على قياسات أجهزة الاستشعار. ولقد حسبت هذه القيم القصوى للخسائر المسموح بها انطلاقاً من المعيار العلمي NSCAT (قياس 90% على الأقل من متجهات الريح فوق مجموع محيطات الكرة الأرضية) ومع مراعاة الخسائر الأخرى في البيانات الموزعة عشوائياً والمشاهدة خاصة في مناطق تتميز بكثافة هطول الأمطار.

## 2.4 معيار التداخل

يقدم الشكل 4 تطبيقاً للمعادلة (5) في حالة مقياس انتثار يمثل الضوضاء الدنيا للمستقبل  $N = 200 \text{ dB(W/Hz)}$ . وهنا يعبر عن  $\alpha$  تبعاً للكثافة الطيفية لقدرة الإشارة المسببة للضوضاء  $I_{s+n}/B_{s+n}$ . وتجدر الإشارة إلى أنه يتم الحصول على قيم مختلفة لـ  $\alpha$  حسب تغير التداخل نسبة إلى الزمن أو إلى عرض النطاق. ويقدم الشكل 4 مجموعة من المنحنيات المقابلة لمختلف قيم المعلمة  $10 \log[(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ .

الشكل 4

منحنيات مقابلة لمختلف قيم المعلمة  $10 \log[(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$  (ضوضاء بيضاء)



RS.1166-04

ويبلغ الفاصل الزمني بين فترة قياس "الإشارة + الضوضاء" وفترة قياس مركز "الضوضاء فقط" 0,23 ثانية في مقياس الانتثار NSCAT. وخلال هذا الفاصل الزمني، يكون التحرك الزاوي لمقياس الانتثار NSCAT الموضوع في الفضاء بالنسبة إلى نقطة معينة من الأرض هو 0,1° تقريباً. وبما أن فتحة حزمة الهوائي المروحية ضيقة (0,42°، عرض حزمة 3 dB)، يمكن مواجهة تغييرات تبلغ عدة dB في مستوى الإشارة المسببة للتداخل المستقبلية عندما يتجاز الفصوص الجانبية لمقياس الانتثار حزمة المرسل المسببة للتداخل. ومن خلال التجارب الهندسية افترض أن التغيير الأقصى الذي يمكن التنبؤ به في خلال فترة القياس عندما لا يكون هناك تداخل هو 6 dB في  $10 \log[(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ . ويمكن القول استناداً إلى الشكل 4، بأن أقصى كثافة قدرة طيفية مسببة للتداخل يمكن تحملها دون اختلال دقة القياس لأحد الهوائيات المروحية الستة لمقياس الانتثار NSCAT النموذجي هي 174-207 dBW على أي طول عرض نطاق من 2 kHz في عرض نطاق قناة المعالجة البالغ 1 MHz.

وفي حالة تداخل شبيه بالضوضاء البيضاء تكون أقصى كثافة مقبولة للقدرة الطيفية المسببة للتداخل حوالي 194 dB(W/Hz) عند دخل المستقبل، مما يقابل في هذا المثال معيار تداخل قدره 161 dBW على طول عرض نطاق قدره 2 kHz في عرض نطاق قناة المعالجة البالغ 1 MHz.

وفي حالة الضوضاء غير البيضاء، يتحدد معيار التداخل بالنسبة إلى مقياس انتشار يستعمل هوائي بحزمة نقطية بالنسبة إلى الفرضية الأسوأ  $10 \log[(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)] = \pm\infty$ . وتمثل هذه الحالة، الحالة التي يكون فيها التداخل حاضراً خلال قياس "الإشارة + الضوضاء" أو خلال قياس "الضوضاء فقط" ولكن ليس خلال هذين القياسين معاً.

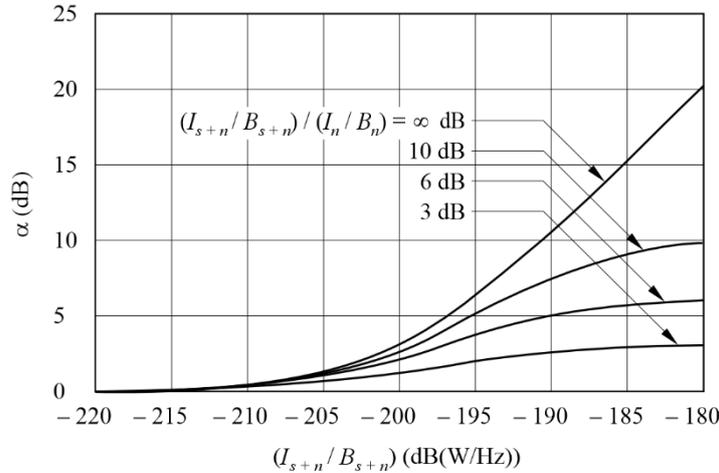
ويبرز ذلك حقيقة أنه يجب دراسة حدث التداخل بالتفصيل فيما يتعلق بتوقيت اعتيان الجهاز استشعار، وعند حدود انتقال حالات التداخل، فإن التداخل الموجود أثناء كل من قياسات "ضوضاء الإشارة" و"الضوضاء فقط" يمكن أن يختلف مما يؤدي إلى زيادة التأثير الضار للتداخل على قياسات الجهاز استشعار.

واستناداً إلى الشكل 5، يمكن القول بأن أقصى كثافة طيفية للقدرة المسببة للتداخل يمكن تحملها دون إحداث انعطاف في دقة القياس الهوائي "الحزمة النقطية" لمقياس الانتثار من النمط NSCAT هي 195 dB(W/Hz). وينبغي التقييد بهذا المعيار بالنسبة لأي

عرض نطاق يبلغ 10 kHz داخل عرض النطاق الكامل لقناة المعالجة البالغ 1 MHz. إلا أنه ينبغي الإشارة إلى أن هذه النتائج تقدم كمثال فقط استناداً إلى مقياس الانتثار من نمط NSCAT، وأن تحليل أنظمة EESS الخاصة قيد الدراسة مطلوب.

الشكل 5

منحنيات مقابلة لمختلف قيم المعلمة  $10 \log[(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$  (ضوضاء غير بيضاء)



RS.1166-05

وفيما يخص التداخل الشبيه بالضوضاء البيضاء، تكون أقصى كثافة للقوة الطيفية المسببة للتداخل حوالي -185 dB(W/Hz) عند دخل المستقبل في حالة مقياس انتشار مجهز بهوائي ذي حزمة نقطية.

وداخل نطاقات الترددات المتقاسمة ينبغي أن يتجاوز توافر بيانات مقياس الانتثار 95% فيما يخص جميع المواقع التي تغطيها منطقة الخدمة للجهاز استشعار حيث تتولد الخسارات بشكل عشوائي وأن يتجاوز 99% في الحالة التي تحصل فيها الخسارة في نفس الموقع بشكل منتظم. وتجدر الإشارة إلى أن تحديد ما إذا كان يمكن استيفاء شرط التوافر بنسبة 95% هو تحليل بسيط نسبياً، بيد أن تحليل الانقطاعات بسبب خصائص الانتثار العشوائي عبر جميع مناطق وأوقات المراقبة هو أمر صعب.

## 5 مقياس الارتفاع

يقدم هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لمقاييس الارتفاع الفضائية في نطاقات التردد 3,3-3,1 GHz و 5,57-5,25 GHz و 8,65-8,55 GHz و 10,4-9,2 GHz<sup>1</sup> و 13,75-13,25 GHz و 36-35,5 GHz.

### 1.5 معايير جودة الأداء

تعطي مقاييس الارتفاع الموضوعية على متن المركبات الفضائية، بعد معالجة البيانات، قياسات لمستوى سطح البحر بدقة لا تقل عن 2 cm أو 3 cm حسب النطاق. ولا تؤثر زيادة 0,1 cm من ضوضاء الارتفاع الناجمة عن التداخل بشكل ملحوظ على البيانات وتعتبر مقبولة. وبعبارة أخرى يكون الانحطاط بنسبة 4% في ضوضاء الارتفاع بسبب التداخل، حيث لن يمنع ذلك تحقيق أهداف المهمات الحالية.

ومن متطلبات مهام قياس الارتفاع الحصول على ما لا يقل عن 90% من جميع البيانات الممكنة عبر المحيطات. والمسطحات المائية القابلة للقياس داخل الكتل الأرضية. والهدف المنشود عند التصميم هو أعلى من القيمة الدنيا، وهو الحصول على 95% من جميع البيانات القابلة للقياس الممكنة. ويجب إجراء عمليات الرصد لتشمل قياسات قريبة قدر الإمكان من التقاء الأرض والبحر

<sup>1</sup> تعمل مقاييس الارتفاع في أي مكان في نطاق التردد 10,4-9,2 GHz بعرض نطاق 300 MHz

(إذا كانت المسافة بين نقطة الرصد والتقاء الأرض والبحر حوالي 15 km، تحدث تشوهات في قراءة مقاييس الارتفاع ناتجة عن تكوّن الأمواج مما يتعذر معه تقدير الارتفاع بدقة). وتغطي حصيلة الخسارة في البيانات جميع موارد الخسارة بما فيها الخسارة الناجمة عن أنظمة المركبات الفضائية أو مقياس الارتفاع أو المناورات أو التداخل أو غير ذلك.

ويبلغ معيار تيسر بيانات قياسات الارتفاع 95% مع افتراض انقطاعات وجيزة وموزعة بشكل عشوائي على مجموع فترة المشاهدة والمناطق (أي لا تتجاوز غالبية الانقطاعات ثانيتين). وتجدد الإشارة إلى أنه على الرغم من أن تحديد ما إذا كان يمكن استيفاء شرط التيسر بنسبة 95% هو تحليل بسيط نسبياً، بيد أن تحليل الانقطاعات بسبب خصائص الانتثار العشوائي عبر جميع مناطق وأوقات المراقبة هو أمر صعب.

ويكون تأثير التداخل الدائم الحضور في منطقة قياس جهاز استشعار معين أكثر خطورة من تأثير التداخل العشوائي لأنه يتعذر القيام بأي قياسات صالحة في تلك المناطق. ولمعالجة مصدر القلق الجدي هذا، يجب أن تكون مقاييس الارتفاع قادرة على الحصول على بيانات صالحة لمدة لا تقل عن 99% من الوقت في كل منطقة قياس ذات أهمية.

## 2.5 معايير التداخل

تقدم مقاييس الارتفاع النمطية موازنات لوصلات تعطي نسبة الإشارة/الضوضاء ( $S/N$ ) قدرها 13 dB (فيما عدا مقاييس الارتفاع في النطاق 36-35,5 GHz) في عرض نطاق استبانة المستقبل البالغ 39,9 dB/Hz (9 772,3 Hz). وقانون تغير ضوضاء قياس الارتفاع هو  $2 + 1$  ( $S/N$ ). وبالنسبة إلى إشارة رجوع تكون فيها نسبة الإشارة إلى الضوضاء ( $S/N$ ) هي 13 dB قبل التداخل، تسبب إضافة التداخل الزيادة في ضوضاء قياس الارتفاع على النحو المبين أدناه:

### الجدول 4

#### زيادة ضوضاء قياس ارتفاع مقاييس الارتفاع مقابل مستوى التداخل<sup>2</sup>

انحطاط (%)		$S/N$ (dB)		سوية التداخل
ضوضاء بيضاء	ضوضاء غير بيضاء	ضوضاء بيضاء	ضوضاء غير بيضاء	
السوية المرجعية	السوية المرجعية	13	13	لا يوجد
0,05	1	12,99	12,6	10 dB تحت الضوضاء
1	4,5	12,5	11,25	3 dB تحت الضوضاء
3,8	9	11,5	10	مساو للضوضاء
82	91	3	2,6	10 dB فوق الضوضاء

وبالنسبة لمقاييس الارتفاع في النطاق 36-35,5 GHz تؤدي تأثيرات الغلاف الجوي والضوابط التكنولوجية إلى حصيلة غير مؤاتية للوصلة (تقترب نسبة الإشارة إلى الضوضاء من 10 dB)، ومن ثم تزداد الحساسية لسوية التداخل، وينبغي أخذ القيم التالية في الاعتبار:

<sup>2</sup> فيما عدا مقاييس الارتفاع في النطاق 36-35,5 GHz.

## الجدول 5

زيادة ضوضاء قياس ارتفاع مقاييس الارتفاع مقابل مستوى التداخل<sup>3</sup>

انحطاط (%)		S/N (dB)		سوية التداخل
ضوضاء بيضاء	ضوضاء غير بيضاء	ضوضاء بيضاء	ضوضاء غير بيضاء	
السوية المرجعية	السوية المرجعية	10	10	لا يوجد
0,08	1,7	9,98	9,6	10 dB تحت الضوضاء
0,5	4,2	9,9	9,0	6 dB تحت الضوضاء
1,2	8,4	9,5	8,2	3 dB تحت الضوضاء
3,8	11,8	9,1	7,7	1,5 dB تحت الضوضاء
6,9	17	8,5	7,0	مساوٍ للضوضاء
150	167	0	0,4-	10 dB فوق الضوضاء

وبالتالي يكون معيار التداخل الضار في حالة مقاييس الارتفاع النموذجية هذه، هو السوية الإجمالية لقدرة الإشارة المسببة للتداخل البالغة -117 dB(W/320 MHz) عند 13-14 GHz و-119 dB(W/450 MHz) عند 35,5-36,0 GHz وهو ما يؤدي إلى زيادة غير مقبولة في ضوضاء قياس الارتفاع. وجددير بالإشارة إلى أنه يجب حساب معيار التداخل الضار وفقاً لخصائص نظام الجهاز استشعار قيد النظر.

وفي نطاقات الترددات المتقاسمة، ينبغي أن يتجاوز تيسر بيانات قياس الارتفاع نسبة 95% لجميع المواقع التي تغطيها منطقة خدمة الجهاز استشعار عندما تكون الخسارات موزعة عشوائياً على جميع أوقات ومناطق الرصد، وأن تتجاوز 99% لكل منقطة تحدث فيها الخسارة بشكل منتظم في نفس المواقع.

## 6 رادار قياس هطول الأمطار

يعرض هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لرادارات قياس الهواطل المحمولة في الفضاء في نطاقات التردد GHz 13,75-13,25 و GHz 17,3-17,2 و GHz 24,25-24,05 و GHz 36,0-35,5. ويمكن استخدام معايير الأداء والتداخل لرادارات قياس الهواطل المحمولة في الفضاء المقدمة في الفقرتين 1 و 2 من توصي من هذه التوصية في تحليل مواءمة تشغيل رادارات قياس الهواطل النشطة المحمولة في الفضاء وأنظمة الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للمواقع العاملة في هذه النطاقات. ويقدم هذا القسم مثلاً لتحليل يستند إلى رادار قياس الهواطل مزدوج التردد (DPR) للبعثة الفضائية المعنية بالهواطل العالمية (GPM) الذي يعمل عند MHz 13,597/13,603 و GHz 35,553/35,547.

وتستخدم البعثة الفضائية المعنية بالهواطل العالمية راداراً بتعدد تكرار نبضي متغير (VPRF) لزيادة عدد العينات في مجال رؤية آني (IFOV). وجهاز الإرسال الذي يعمل في النطاق GHz 35 مصمم للكشف عن الأمطار الخفيفة والتمييز بين الأمطار والثلوج، ويُستخدم الرادار الذي يعمل في النطاق GHz 13 للكشف عن الأمطار الغزيرة. وصممت النطاقات الدينامية لكلا الرادارين لكي يتمكن من تقدير توزيع حجم القطرات (DSD) الخاصة بالهواطل.

<sup>3</sup> لمقاييس الارتفاع في النطاق 36-35,5 GHz.

## 1.6 رادارات قياس الهواطل على أساس مهمة قياس الهواطل مزدوج التردد للبعثة الفضائية المعنية بالهواطل العالمية (GPM DPR)

كان أول رادار محمول فضائي لقياس هطول الأمطار هو رادار قياس هطول الأمطار المداري (TRMM) الذي أُطلق في عام 1997. وبعد نجاح TRMM، أُطلقت مهمة GPM في فبراير 2014. وتقوم مهمة GPM حالياً بقياس هطول الأمطار من الفضاء وتوفر معياراً مرجعياً لربط قياسات هطول الأمطار التي تم الحصول عليها من أجهزة استشعار أخرى محمولة في الفضاء.

وتتم دراسة أهداف المهمة GPM DPR وتصميمها بغية تحديد أهداف جودة الأداء ومعايير التداخل الكفيلة أن تطبق لاحقاً على تقييم ملاءمة رادارات قياس الهواطل. وتُقدم معايير التداخل التي تحدد مستوى التداخل المسموح به ومقدار خسارة البيانات الناجم عن التداخل، وذلك بما يتيح تحقيق أهداف المهمة.

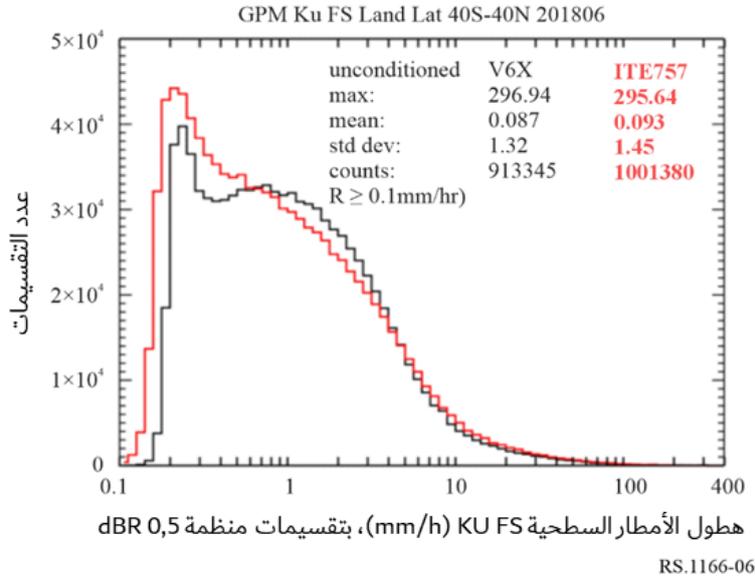
### 1.1.6 أهداف جودة الأداء عند GHz 13,597/13,603

تبغي الأوساط العلمية من رادارات GPM DPR التمكن بعد معالجة البيانات، من قياس معدلات الهواطل التي تبلغ على الأقل mm/h 0,2 عند GHz 13,597/13,603.

وفيما يلي دالة كثافة الاحتمال لمعدلات هطول الأمطار المستمدة من الإصدار 7 للقياس GPM (يرمز اللون الأحمر إلى الإصدار V7، ويرمز اللون الأسود إلى الإصدار V6) بين 40° جنوباً و40° شمالاً. ويُلاحظ أن هذه عمليات استرجاع النطاق Ku فقط وأن المعدل الأدنى لهطول الأمطار القابل للكشف يبلغ نحو 0,2 مم/ساعة بدلاً من 0,5 mm/h. ولذلك، إذا زاد التداخل من الحد الأدنى لهطول الأمطار القابل للكشف إلى أكثر من 0,5 mm/h، فسيكون له تأثير كبير.

### الشكل 6

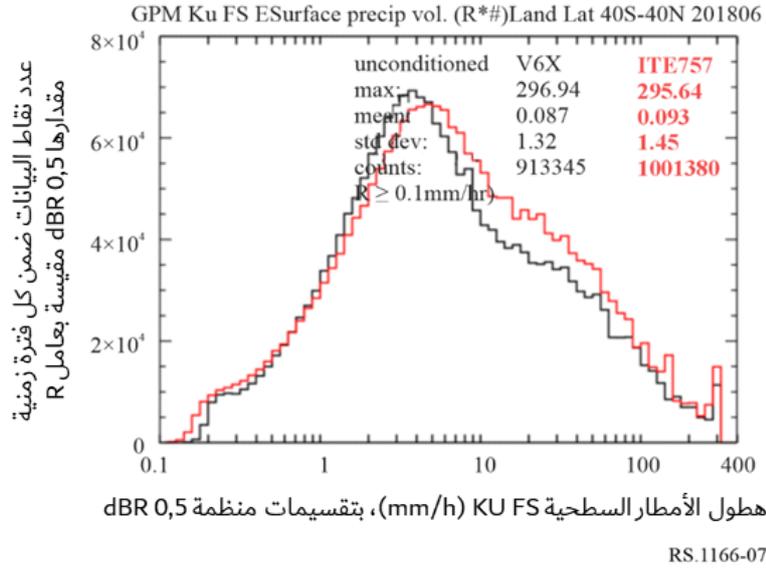
معدلات هطول الأمطار المستمدة من الإصدار 7 (اللون الأحمر) والإصدار 6 (اللون الأسود) للقياس GPM (خطوط العرض المنخفضة)



تحدث الذروة بالقرب من 0,2 mm/h. وفيما يلي توزيع حجم المطر (المطر \* المساحة أساساً).

## الشكل 7

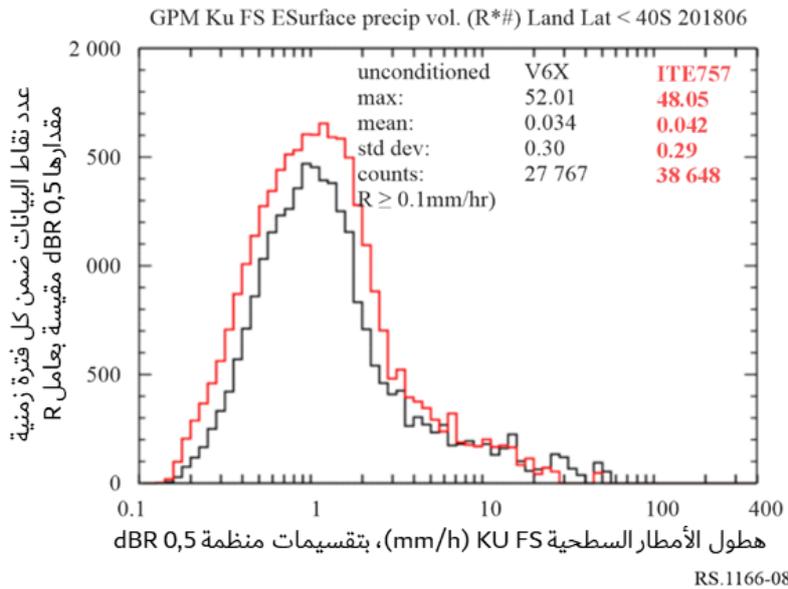
## توزيع حجم الأمطار (خطوط العرض المنخفضة)



تتحول ذروة أحجام الأمطار إلى حوالي 4 مم/ساعة، لكن المجموع إلى اليسار البالغ 0,5 مم/ساعة، رغم أنه ليس ضخماً، لا يزال كبيراً. وهذه الرسوم البيانية مخصصة لخطوط العرض المنخفضة. ويظهر أدناه رسم بياني مماثل لخطوط العرض المرتفعة جنوباً.

## الشكل 8

## توزيع حجم الأمطار (خطوط العرض الجنوبية العليا)



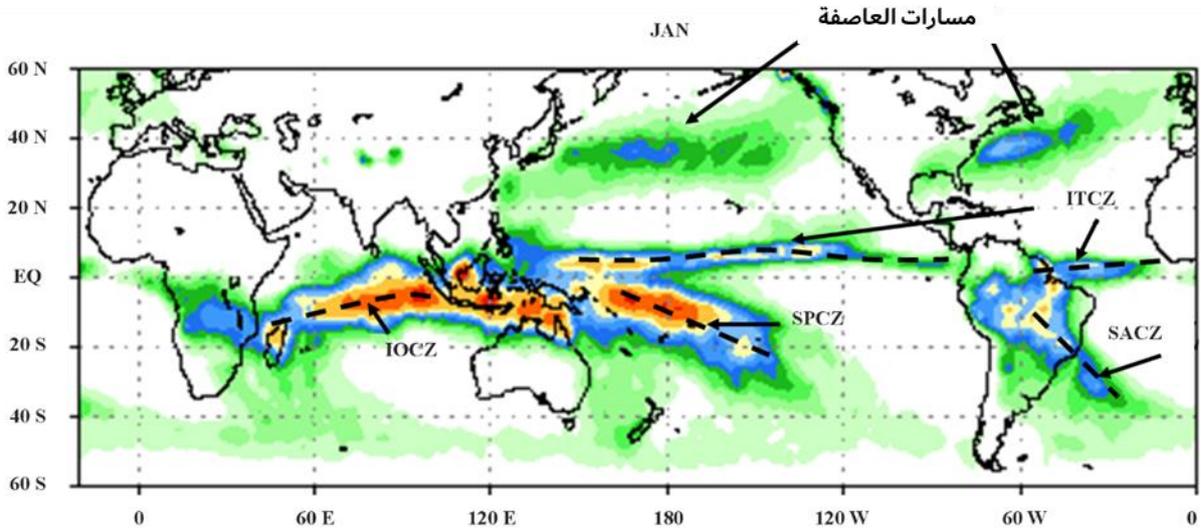
توزيع حجم الأمطار في خطوط العرض المرتفعة جنوباً تبيّن أن مساهمة الأمطار الخفيفة أكبر. من خطوط العرض المنخفضة. ولذا من المهم معرفة ما إذا كان التداخل سيحول الحد الأدنى القابل لاكتشاف هطول الأمطار إلى اليمين. وإن تحويل عتبة هطول

الأمطار القابلة للاكتشاف إلى اليمين قد يكون له آثار كبيرة على قياس هطول الأمطار الخفيفة، وخاصة في خطوط العرض المرتفعة بالنسبة لنظام قياس الهطول العالمي (GPM) ورادار AOS Ku-band المستقبلي.

ويعتمد التيسر المطلوب لبيانات هطول الأمطار على موقع هطولها. ومن المهم تجميع كل المعلومات الممكنة عن معدلات الهطول، إلا أن القياسات التي تجري في منطقة التقارب المدارية (ITCZ) لها أهمية خاصة في المنطقة التي يحددها خط الاستواء وخط العرض 10° شمالاً ومنطقة تقارب جنوب المحيط الهادئ (المتددة من الساحل الأسترالي إلى جنوب المحيط الهادئ (SPCZ)). وتتحدد هذه المناطق الأكثر أهمية عادة عن طريق خطوط العرض (0°-10° شمالاً) و(50°-180° شرقاً و0°-10° جنوباً). ولذلك، فإن المنطقة الأكثر أهمية تقع في منطقة التقارب المدارية. ويوضح الشكل 9 مناطق التقارب ذات الأهمية الخاصة لقياسات رادار هطول الأمطار. وبالإضافة إلى ذلك، تُستخدم مواقع "الحقيقة الأساسية" الخاصة لربط البيانات الناتجة بواسطة رادارات قياس الهطول بالقياسات التي تجري في نفس الوقت بوسائل على الأرض. وأحد معايير خسارة البيانات في المنطقة ITCZ بسبب التداخل العشوائي هو 0,2% من إجمالي البيانات التي يمكن جمعها. ومع ذلك، وكما هو مذكور في مكان آخر من هذه التوصية، فإن التداخل العشوائي من الصعب (إن لم يكن من المستحيل) تحديده وأخذه في الاعتبار عند إجراء تحليل التداخل.

### الشكل 9

#### مناطق التقارب ذات الأهمية الخاصة لقياسات رادار هطول الأمطار



RS.1166-09

#### 2.1.6 معايير التداخل

يعادل التداخل الشبيه بالضوضاء الذي يؤدي إلى زيادة في قياس معدل المطر من 0,2 إلى 0,5 mm/h انحطاطاً في الأداء بنسبة 7%. وبالتالي ينبغي أن يكون التداخل 10 dB تحت سوية ضوضاء النظام. يعتمد مستوى الضوضاء على المستشعر ويجب حسابه لكل سيناريو. وتُعطى معادلة حساب مستوى الضوضاء على النحو التالي:

$$N = 10 \log(T * k_B * BW) \cdot (dBW/BW)$$

حيث:

$T$ : درجة حرارة ضوضاء النظام بوحدة kelvin

$k_B$ :  $1,381 \times 10^{-23}$  (ثابت بولتزمان)

$BW$ : عرض نطاق النظام.

وفي نطاقات الترددات المتقاسمة، ينبغي أن يتجاوز تيسر بيانات القياس بالرادار نسبة 99,8% من مجموع المواقع التي تغطيها منطقة خدمة جهاز الاستشعار في حالة الخسارات التي تحصل عشوائياً. وتجدر الإشارة إلى أن تحديد ما إذا كان يمكن تلبية شرط التيسر بنسبة 99,8% هو تحليل بسيط نسبياً، بيد أن تحليل الانقطاعات بسبب خصائص الانتثار العشوائي عبر جميع مناطق وأوقات المراقبة هو أمر صعب.

### 3.1.6 رادار قياس الهوطل GPM العامل في النطاق 35 GHz

#### 1.3.1.6 معايير الأداء

نسبة هطول الأمطار الضعيف في مناطق خطوط العرض العليا أكثر منها في المناطق الاستوائية، لذلك من الضروري، قدر الإمكان، قياس الهطول الضعيف من أجل الحصول على تقدير خالٍ من التحيز لإحصاءات توزيع الأمطار في مناطق خطوط العرض العليا. وأحد متطلبات القياس في مهمة رادار قياس الهوطل في بعثة المتابعة هو قياس معدلات الهطول التي تبلغ mm/h 0,2 في مهمة GPM DPR. ولهذا السبب حددت أدنى انعكاسية رادارية مكشوفة قدرها dBZ 12 باعتبارها معيار جودة الأداء لرادار قياس الهوطل 35 GHz.

#### 2.3.1.6 معايير التداخل

تناظر انعكاسية الرادار dBZ 12 معدل هطول يبلغ mm/h 0,2. وقد تزيد هذه القيمة لتصل إلى mm/h 0,22، وهذا الانحطاط في الأداء يناظر زيادة 10% في حرارة ضوضاء النظام، أو زيادة قدرها نحو dB 0,5 في سوية ضوضاء النظام. وهذا المعيار هو نفسه تقريباً لرادار قياس الهوطل 13 GHz. ومن ناحية معيار خسارة البيانات نتيجة التداخل، تنطبق نفس معايير رادار قياس الهوطل 13 GHz لرادار 35 GHz. وتبلغ خسارة البيانات المسموح بها لرادار قياس الهوطل GPM العامل في النطاق 35 GHz نسبة 0,2%: وجدير بالإشارة إلى أن سوية التداخل المسموح بها المقدمة في هذا المثال الواردة في هذا المثال صحيحة لهذا المثال فقط. وبالنسبة لكل رادار من رادارات قياس هطول الأمطار، يجب حساب خسارة البيانات المسموح بها من سويات التداخل باستخدام خصائص نظام رادار قياس هطول الأمطار هذا.

## 7 رادارات رصد السحب

يقدم هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لأجهزة استشعار رادارات رصد السحب المحمولة في الفضاء في نطاق التردد 94,0-94,1 GHz.

### 1.7 معايير الأداء لرادارات رصد السحب في التردد 94 GHz

مهمة التصوير الجانبي للسحب عن طريق الرادارات المحمولة في الفضاء هو قياس المظهر الجانبي للانكسارية لجميع السحب التي تقع في مدى البصر والتي لا تقل انعكاسيتها عن -35 dBZ.

### 2.7 معايير التداخل لرادارات رصد السحب في التردد 94 GHz

يجب أن يكون انحطاط التداخل في  $Z_{min}$  أقل من 10% في 95% من منطقة الخدمة. ويساوي الانحطاط بنسبة 10% في  $Z_{min}$  نسبة للضوضاء إلى التداخل تبلغ -10 dB. ويعادل معيار التداخل هذا سوية قدرة تداخل تبلغ -160 dBW عند 300 kHz.

### 3.7 معايير التيسر لرادارات رصد السحب

بالنسبة لإشارات التداخل العشوائية يجب أن يكون انحطاط التداخل  $Z_{min}$  أقل من 10% في 95% من منطقة الخدمة. وإذا كانت إشارة التداخل غير عشوائية فيجب أن يكون انحطاط التداخل  $Z_{min}$  أقل من 10% في 99% من منطقة الخدمة المستهدفة. وتجدر الإشارة إلى صعوبة تحليل التداخل بسبب خاصية الانتثار العشوائي خلال جميع أوقات ومناطق الرصد.

## 8 منطقة القياس المعنية لتقييم التداخل المنهجي

من أجل إجراء التحليلات التي تقيم التداخل فيما يتعلق بتأثيره على معايير تيسر البيانات المنهجية لجهاز الاستشعار النشط، من الضروري تحديد (1) أبعاد منطقة القياس، و(2) موقع المنطقة الجغرافية التي يجب مراعاتها في عمليات المحاكاة، و(3) الطريقة التي يتم بها القياس. ويشار إلى حجم وموقع المنطقة الجغرافية التي ينبغي أخذها في الاعتبار عند تقاسم التحليلات باسم "منطقة القياس المعنية". وتعتمد الطريقة التي يتم بها القياس على الخصائص التشغيلية لجهاز الاستشعار والطريقة التي تُستخدم بها بيانات جهاز الاستشعار.

وفي نطاقات الترددات المتقاسمة، ينبغي أن يتجاوز تيسر جميع بيانات جهاز الاستشعار، باستثناء رادار قياس الهواطل، نسبة 95% من جميع المواقع في منطقة خدمة جهاز الاستشعار في الحالة التي تحدث فيها الخسارة بشكل عشوائي، وينبغي أن يتجاوز نسبة 99% من جميع المواقع عندما تحدث الخسارة بطريقة منتظمة ضمن منطقة القياس المعنية. وفي حالة رادارات قياس الهواطل، تبلغ معايير إتاحة البيانات العشوائية والمنتظمة 99,8%.

وفيما يتعلق بمنطقة القياس المعنية، من شأن أي تداخل منتظم يتجاوز عتبة التداخل المطبقة أن يؤدي إلى خسارة قياس في 100% من الوقت لمنطقة القياس المحددة المعنية.

## 9 اعتبارات التداخل النبضي العابر

من المهم أن يُلاحظ أن دراسات التقاسم والتوافق التي يقوم بها قطاع الاتصالات الراديوية تجرى عادة باستخدام متوسط قدرة المرسل المسبب للتداخل بدلاً من قدرة الذروة العابرة. وفي حالة جهاز استشعار نشط محمول على متن مركبة فضائية مثل مقياس الارتفاع، فإن استخدام القدرة المتوسطة لجهاز الإرسال المسبب للتداخل بدلاً من قدرة الذروة العابرة سيؤدي إلى التقليل من مستوى التداخل الذي يؤثر على قياسات جهاز الاستشعار للكشف عن الذروة.

وأجهزة الاستشعار النشطة المحمولة في الفضاء التي تكشف متوسط قدرة إشارة العودة لا تتأثر بالإضافة إلى ذلك بالإرسالات العابرة لرموز التشكيل بقدرة أعلى من القدرة المتوسطة المرسل، ومع ذلك، فإن أجهزة الاستشعار التي تكشف قدرة ذروة إشارة العودة تكون حساسة لانساع الإرسال العابر الذي يقع فوق القدرة المتوسطة لإشارة مسببة للتداخل.

### 1.9 تحديد قدرة الذروة العابرة لبعض مخططات التشكيل

يقدم الشكل 10 نتائج قياسات دالة التوزيع التراكمي التكميلية (CCDF) التي أجريت لذرى القدرة لمرسل<sup>4</sup> موجة حاملة واحدة DVB-S2 مع خمسة مخططات تشكيل شائعة الاستعمال عند عرضها مع تدفق بيانات مولد عشوائياً. وتم النظر في عملية إرسال موجة حاملة واحدة.

تم استخدام ترشيح شكل النبضة في المكونات غير الخطية للإرسال ولم يشمل هذا البحث تشغيل الموجات الحاملة المتعددة، كما هو متوقع، حيث كانت نسبة 50% من قدرة الذروة الزمنية أعلى من القدرة المتوسطة بمقدار 0 dB. ومع ذلك، في 1% من الوقت، تكون ذرى القدرة لأربعة من مخططات التشكيل الخمسة أعلى بمقدار 4 dB من المتوسط. وتكون قدرة الذروة النبضية أكبر من 5 dB فوق المتوسط لجميع مخططات التشكيل شائعة الاستعمال والمبينة في الشكل 9. وتكون قدرة الذروة النبضية أكبر من 7 dB فوق متوسط القدرة للتشكيل 32 APSK و 16 QAM. فعلى سبيل المثال، يقدم الجدول 6 أدناه جدولاً بذرى القدرة لمخططات التشكيل عند 10% و 1% و 0,1% و 0,01% من سويات الوقت مقابل عروض النطاق. ويقدم الجدول 6 أيضاً لكل عرض نطاق عدد الرموز في الثانية التي قد تحدث عند ذرى القدرة هذه بالنسبة إلى النسبة المئوية لسويات الوقت.

وكمثال على ذلك، يعمل مقياس الارتفاع في النطاق 13,4-13,75 GHz ويأخذ عينات من حوالي 2 000 إشارة رادارية في الثانية ناتجة عن حوالي 2 000 زقزقة. ويكتشف مقياس الارتفاع قدرة الذروة المرتدة. ويبين الجدول 6 عدد الرموز في الثانية مقابل قدرة

<sup>4</sup> هذا يعني ضمناً مرشح إرسال RRC بمعامل  $\alpha$  25

الذروة فوق المتوسط المتوقع لمختلف التشكيلات ومعدلات بنات الإرسال. ويشير الجدول 6 إلى أن معدل الرموز في الثانية لتشكيل الإرسال يتجاوز معدل عينة مقياس الارتفاع. ويتبين من فحص هذه المدخلات المظللة أنه عند النظر في تأثير قدرة نبضات الذروة العابرة، ينبغي تطبيق قيمة إضافية دنيا لقدرة إرسال التداخل فوق المتوسط.

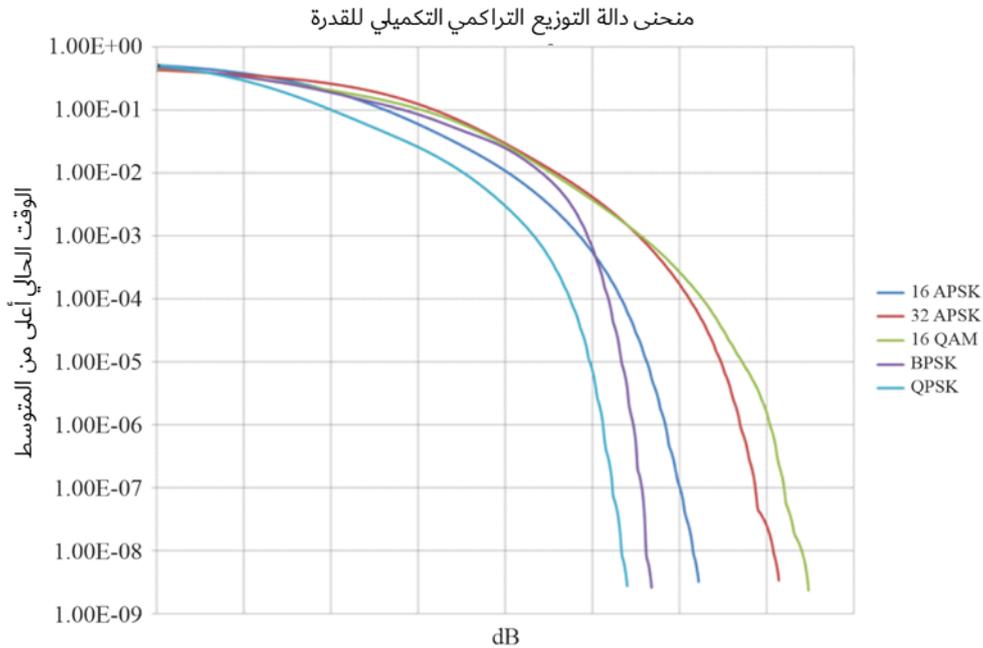
وهذا الفحص لتأثير قدرة الذروة على جهاز الاستشعار الذي يكشف عن الذروة كان متحفظاً في تقديره للقدرة الإضافية التي ينبغي أخذها في الاعتبار في دراسات التداخل. وكما هو مبين في الشكل 10، تحدث ذرى رموز القدرة الأعلى عند معدلات تردد أقل من معدل نبضة مقياس الارتفاع الذي يبلغ نحو 2 000 نبضة في الثانية.

وستكتشف رموز القدرة الأعلى هذه أيضاً بواسطة جهاز استشعار مقياس الارتفاع، ولكن نظراً إلى أن هذه الرموز ذات القدرة الأعلى تحدث عند تردد أقل من معدل العينة، فإنها لن تؤثر على كل عينة من عينات مقياس الارتفاع. وقد توفر الدراسة الإضافية طريقة لاحتساب تأثير جميع رموز القدرة الأعلى على تدهور عينات القياس الناتجة عن أجهزة الاستشعار الكاشفة للذروة.

يقدم الشكل 10 والجدول 6 نتائج قدرة الذروة/النسبة المئوية للوقت للتشكيلات عند النظر في الإرسال بموجة حاملة واحدة لكل تشغيل محطة أرضية للخدمة الثابتة الساتلية. عندما تستخدم محطة إرسال موجات حاملة متعددة ضمن الإرسال (تشغيل بموجات حاملة متعددة)، فإن التفاعل بين الموجات الحاملة المتعددة داخل نفس عرض النطاق المرشح للمرسل سيزيد بشكل ملحوظ من قدرة الذروة لرموز الإرسال مقارنة بالمرسل للمحطة الأرضية بموجة حاملة واحدة. ويتطلب فحص الإرسال متعدد الموجات الحاملة فيما يتعلق بقدرة الذروة للرموز الناتجة مزيداً من الدراسة.

### الشكل 10

#### دالة التوزيع التراكمي التكميلية لقدرة الذروة للتشكيلات الشائعة المستخدمة



الجدول 6

جدولة قدرة الذروة كنسبة مئوية من الوقت والرموز/الثانية المقابلة  
من أجل أنماط الإرسال في الخدمة الثابتة الساتلية

رموز/ثانية (k)	%0,01 (dB)	رموز/ثانية (k)	%0,1 (dB)	رموز/ثانية (k)	%1 (dB)	رموز/ثانية (k)	أعلى من المتوسط بنسبة 10% من الوقت (dB)	معدل بتات الإرسال/التشكيل
<b>kHz 580</b>								
0,2	5,3	<sup>(1)</sup> 2,3	4,8	<sup>(1)</sup> 23,2	4,0	<sup>(1)</sup> 232	2,6	16 APSK
0,3	6,1	<sup>(1)</sup> 2,9	5,5	<sup>(1)</sup> 29	4,6	<sup>(1)</sup> 290	3,2	32 APSK
0,2	6,3	<sup>(1)</sup> 2,3	5,6	<sup>(1)</sup> 23,2	4,5	<sup>(1)</sup> 232	3,1	16 QAM
0,1	5,2	<sup>(1)</sup> 0,6	4,9	<sup>(1)</sup> 5,8	4,4	<sup>(1)</sup> 58	2,8	BPSK
0,1	4,7	<sup>(1)</sup> 1,2	4,3	<sup>(1)</sup> 11,6	3,5	<sup>(1)</sup> 116	2,0	QPSK
<b>MHz 30.84</b>								
<sup>(1)</sup> 12,4	5,3	<sup>(1)</sup> 123,2	4,8	<sup>(1)</sup> 1 232	4,0	<sup>(1)</sup> 12 336	2,6	16 APSK
<sup>(1)</sup> 15,5	6,1	<sup>(1)</sup> 154,0	5,5	<sup>(1)</sup> 1 540	4,6	<sup>(1)</sup> 15 420	3,2	32 APSK
<sup>(1)</sup> 12,4	6,3	<sup>(1)</sup> 123,2	5,6	<sup>(1)</sup> 1 232	4,5	<sup>(1)</sup> 12 336	3,1	16 QAM
<sup>(1)</sup> 3,1	5,2	<sup>(1)</sup> 30,8	4,9	<sup>(1)</sup> 308	4,4	<sup>(1)</sup> 3 084	2,8	BPSK
<sup>(1)</sup> 6,2	4,7	<sup>(1)</sup> 61,6	4,3	<sup>(1)</sup> 616	3,5	<sup>(1)</sup> 6 168	2,0	QPSK
<b>MHz 2.94</b>								
1,2	5,3	<sup>(1)</sup> 11,8	4,8	<sup>(1)</sup> 117,6	4,0	<sup>(1)</sup> 1 176	2,6	16 APSK
1,5	6,1	<sup>(1)</sup> 14,7	5,5	<sup>(1)</sup> 147	4,6	<sup>(1)</sup> 1 470	3,2	32 APSK
1,2	6,3	<sup>(1)</sup> 11,8	5,6	<sup>(1)</sup> 117,6	4,5	<sup>(1)</sup> 1 176	3,1	16 QAM
0,3	5,2	<sup>(1)</sup> 2,9	4,9	<sup>(1)</sup> 29,4	4,4	<sup>(1)</sup> 294	2,8	BPSK
0,6	4,7	<sup>(1)</sup> 5,9	4,3	<sup>(1)</sup> 58,8	3,5	<sup>(1)</sup> 588	2,0	QPSK

(1) معدل رموز تشكيلات الإرسال في الثانية تتجاوز معدل عينة مقياس الارتفاع.

بالنسبة لدراسات التقاسم التي يقوم بها قطاع الاتصالات الراديوية والتي تشمل أجهزة استشعار نشطة محمولة في الفضاء للكشف عن الذرى، هناك حاجة إلى فحص تردد الرموز ذات القدرة الأعلى مقارنة بتردد الكشف بواسطة جهاز الاستشعار النشط المحمول في الفضاء لتحديد المستوى الإضافي فوق القدرة المتوسطة لجهاز الإرسال المسبب للتداخل الذي ينبغي أن يُؤخذ في الاعتبار.

## 10 المعلومات النمطية لأجهزة الاستشعار EESS (النشيطة) التي تستخدم في تحديد التأثير الناجم عن أنواع مختلفة من التداخل

يمكن استخدام معلومات الأنواع الستة من أجهزة الاستشعار النشيطة المحمولة في الفضاء المدرجة في الجدول 7 في تقييم تأثير أنواع مختلفة من التداخل على القياسات التي يحصل عليها جهاز الاستشعار النشط. والقيم الواردة في الجدول 7 هي قيم نموذجية يمكن استخدامها لإجراء تقييم أولي؛ ومع ذلك، ينبغي استخدام القيم الفعلية لجهاز الاستشعار النشط في نطاق التردد قيد النظر في أي تحديد نهائي لتأثير التداخل.

## الجدول 7

المعلومات النمطية لمعالجة أجهزة الاستشعار (النشطة) من أجل تقييم تأثير النداخل

قياس ضوضاء الخلفية	الحد الأدنى لمنطقة القياس محل الاهتمام	حجم البيكسل (km <sup>2</sup> )	عدد العينات الفرعية في العينة	حجم العينة الفرعية (ms)	كشف ذروة/متوسط القدرة	نوع جهاز الاستشعار
نعم					متوسط	المسبار الراداري
نعم					متوسط	جهاز تصوير الرادارات ذو الفتحة التركيبية
نعم					متوسط	مقياس الانتثار
نعم					متوسط	مقياس الانتثار
نعم	10 km <sup>2</sup> (وحدات بيكسل متتالية)	1	100	50	ذروة	رادار رصد السحب
نعم					متوسط	رادار قياس هطول الأمطار
نعم					متوسط	رادار رصد السحب