التوصيـــة ITU-R RS.1166-4

معايير جودة الأداء والتداخل* للمحاسيس الفضائية النشيطة

(2009-2006-1999-1998-1995)

مجال التطبيق

تعرض هذه التوصية معايير الأداء والتداخل في المحاسيس الفضائية النشيطة في النطاقات المخصصة لخدمة استكشاف الأرض الساتلية (النشيطة). ويرد في الملحق وصف الأسس التقنية المستخدمة في وضع هذه المعايير لأنواع مختلفة من المحاسيس الفضائية النشيطة، وتشمل هذه الأنواع محاسيس مقاييس الارتفاع، ومقاييس الانتثار، ورادارات قياس الهواطل، والرادارات ذات الفتحات التركيبية، ورادارات رصد السحب.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن التحسس عن بُعد بواسطة محاسيس فضائية بموجات صغرية نشيطة يحتاج إلى مدى ترددات معين يتوقف على الظواهر المادية المطلوب رصدها؛

ب) أن بعض نطاقات الترددات قد خُصصت للتحسس عن بُعد بواسطة محاسيس فضائية بموجات صغرية نشيطة؛

ج) أن هذه النطاقات مخصصة أيضاً لخدمات اتصالات راديوية أخرى؛

د) أن هنالك دراسات حددت شروط حساسية القياس؛

هـ) أن متطلبات الأداء للمحاسيس النشيطة يمكن صياغتها حسب دقة قياس المعلمات المادية والتيسر مقيسة على سوية الساتل، مع افتراض أن الانحطاط الناجم عن عناصر أخرى للنظام هو انحطاط بسيط؛

و) أنه ينبغي وضع أهداف جودة الأداء للمحاسيس الفضائية النشيطة ذات الموجات الصغرية 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 تقاسم نطاقات الترددات بين الخدمات المختلفة إذا اقتضى الأمر؛

ح) أن الملحق 1 يعرض الأسس التقنية لحساب معايير جودة الأداء والتداخل انطلاقاً من مختلف المحاسيس النشيطة النموذجية،

* لا تشمل معايير التداخل بالضرورة معايير التقاسم.

توصـــي

1 بتطبيق معايير جودة الأداء الواردة في الجدول 1 على الأدوات المستعملة في التحسس النشيط لسطح الأرض والمحيطات والغلاف الجوي:

الجـــدول 1

نطاق الترددات	معايير جودة الأداء لأدوات التحسس عن بُعد				
	مقياس الانتشار	مقياس الارتفاع	SAR المصور	رادار قياس الهواطل	رادارات رصد السحب
MHz 438–432			الانعكاسية الدنيا dB 21–		
MHz 1 300–1 215			الانعكاسية الدنيا dB 32–		
MHz 3 300–3 100		دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3	الانعكاسية الدنيا dB 26–		
MHz 5 570–5 250	سرعة الرياح ≤ m/s 3	دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3	الانعكاسية الدنيا dB 24–		
MHz 8 650–8 550	سرعة الرياح ≤ m/s 3	دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3	الانعكاسية الدنيا dB 21–		
MHz 9 900–9 300[1]	سرعة الرياح ≤ m/s 3	دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3	الانعكاسية الدنيا dB 18–		
GHz 13,75–13,25	سرعة الرياح ≤ m/s 3	دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3		المعدلات الدنيا للمطر mm/h 0,75-0,7	
GHz 17,3–17,2	سرعة الرياح ≤ m/s 3			المعدلات الدنيا للمطر mm/h 0,75-0,7	
GHz 24,25–24,05				المعدلات الدنيا للمطر mm/h 0,75-0,7	
GHz 36–35,5	سرعة الرياح ≤ m/s 3	دقة مستوى سطح البحر ≥ cm 3		المعدلات الدنيا للمطر mm/h 0,2-0,1	dBZ 17– ± 10%
GHz 79–78					dBZ 27– ± 10%
GHz 94,1–94					dBZ 30– ± 10%
GHz 134–133,5					dBZ 34– ± 10%
GHz 238–237,9					dBZ 44– ± 10%

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

SAR: رادار ذو فتحة تركيبية.

(1) انظر المقررات ذات الصلة الصادرة عن المؤتمر WRC-07.

2 بتطبيق معايير التداخل وتيسّر البيانات الواردة في الجدول 2 بالنسبة للأدوات المستعملة في التحسس النشيط لسطح الأرض والمحيطات والغلاف الجوي.

الجـــدول 2

نوع المحساس	معايير التداخل		معايير تيسّر البيانات (%)	
	انحطاط الأداء	(dB) *I/N*	منهجية	عشوائية
رادار ذو فتحة تركيبية	انحطاط بنسبة 10% في الانحراف المعياري للقدرة في البيكسل الواحد	6−	99	95
مقياس الارتفاع	انحطاط في ضوضاء الارتفاع بنسبة 4%	3−	99	95
مقياس الانتشار	انحطاط في قياسات الانتشار الخلفي المقيِّس للرادار لاستنتاج سرعة الرياح بنسبة 8%	5−	99	95
رادار قياس الهواطل	زيادة في المعدل الأدنى لهطول الأمطار بنسبة 7%	10−	لا تنطبق	99,8
رادار رصد السحب	انحطاط في الانعكاسية الدنيا للسحب بنسبة 10%	10−	99	95

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

الملحق 1

معايير جودة الأداء والتداخل للمحاسيس الفضائية النشيطة

1 مقدمة

من الضروري تحديد معايير جودة الأداء في المحاسيس الفضائية النشيطة من أجل إعداد معايير التداخل. وتستخدم معايير التداخل بدورها في تقييم ملاءمة أنظمة الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للمواقع والمحاسيس النشيطة التي تعمل في نطاقات ترددات مشتركة.

ويقدم هذا الملحق الأسس التقنية لإعداد معايير جودة الأداء والتداخل لأنماط مختلفة من محاسيس فضائية نشيطة. والمحاسيس النمطية هي مقاييس الارتفاع ومقاييس الانتشار ورادارات قياس الهواطل، والرادارات ذات الفتحات التركيبية ورادارات رصد السحب.

وبالرغم من أن هذه المعايير قد أعدت تبعاً لأنماط أنظمة قائمة ومخططة لعلوم الفضاء ولخصائص تشغيلها إلا أنه يتوقع أن تكون الأنظمة المستقبلية لعلوم الفضاء قادرة في تصميمها على قبول نفس سويات الإشارات المسببة للتداخل والظروف الزمانية والمكانية المرافقة لها على الأقل.

2 مقاييس الارتفاع

يقدم هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لمقاييس الارتفاع الفضائية في نطاقات التردد GHz 3,3-3,1 وGHz 5,57-5,25 وGHz 8,65-8,55 وGHz 9,8-9,5 وGHz 13,75-13,25 وGHz 35,6-35,5.

1.2 معايير جودة الأداء

تعطي مقاييس الارتفاع الموضوعة على متن المركبات الفضائية، بعد معالجة البيانات، قياسات لمستوى سطح البحر بدرجة من الدقة تبلغ أقل من cm 3. وتتراوح سوية الضوضاء الملتقطة في قياسات ارتفاع الموجة عن طريق مقاييس الارتفاع بين cm 2 وcm 2,4c بالنسبة للبحار الهادئة. ولا تؤثر زيادة cm 0,1 من ضوضاء الارتفاع الناجمة عن التداخل بشكل ملحوظ على البيانات وتعتبر مقبولة. وبعبارة أخرى يكون الانحطاط بنسبة 4% في ضوضاء الارتفاع ملائماً لأهداف المهمات.

وفي حالة قياسات الارتفاع، يُفترض أن نسبة الحيازة للبيانات المقيسة على المحيطات هي 90%. والهدف المنشود عند التصميم هو أعلى من القيمة الدنيا، وهو 95% من جميع البيانات الممكنة. وينبغي أن تجري المشاهدة أقرب ما يكون من التقاء الأرض والبحر (إذا كانت المسافة بين نقطة الرصد والتقاء الأرض والبحر أقل من km 15، 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 غيرها.

ويبلغ معيار تيسُّر بيانات قياسات الارتفاع 95% مع افتراض انقطاعات وجيزة وموزعة بشكل عشوائي على مجموع فترة المشاهدة والمناطق (أي لا تتجاوز غالبية الانقطاعات ثانيتين).

ويكون تأثير التداخل الدائم الحضور في مكان معين أكثر خطورة من تأثير التداخل العشوائي في أي منطقة جغرافية لأنه يتعذر القيام بأي قياسات في تلك المناطق، وبالتالي يكون هدف مقاييس الارتفاع هو الحصول على بيانات صالحة بنسبة 99% من مجمل المناطق الجغرافية المطلوبة.

2.2 معايير التداخل

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

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

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

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

وإذا تجاوز انحطاط ضوضاء قياس الارتفاع نسبة 4% لا تستوفى شروط المهمة. ولأخذ التداخل غير الغوسي في الاعتبار، تثبت عتبة التداخل عند القيمة dB 3 تحت عتبة الضوضاء. ويتضح من ذلك أن انحطاط جودة الأداء يتزايد جداً عندما تتجاوز سوية التداخل عتبة الضوضاء.

وبالتالي يكون معيار التداخل الضار في حالة مقاييس الارتفاع، هو السوية الإجمالية لقدرة الإشارة المسببة للتداخل البالغة –117 dB(W/320 MHz) عند GHz 14-13 و–119 dB(W/450 MHz) عند GHz 36,0-35,5 وهو ما يؤدي إلى زيادة غير مقبولة في ضوضاء قياس الارتفاع.

وفي نطاقات الترددات المتقاسمة، ينبغي أن يتجاوز تيسر بيانات قياس الارتفاع نسبة 95% من مجموع المواقع التي تغطيها منطقة خدمة المحساس عندما تكون الخسارات عشوائية، وأن تتجاوز 99% من مجموع المواقع عندما تحدث الخسارة بشكل منتظم في نفس المواقع الجغرافية.

3 مقاييس الانتشار

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

إن كل بث راديوي غير مطلوب يصل إلى حدود مستقبل مقياس الانتشار كفيل بإلحاق الضرر بنتائج قياس المعلمة (σ_0). وهي معامل الانتشار الخلفي المقيس للرادار. وتتوقف سوية الانحطاط على إحصاءات التداخل الخارجي.

1.3 معايير جودة الأداء

تقدر أولاً قدرة إشارة رجع الصدى في أنظمة مقاييس الانتشار 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. ويبرر 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. وحسب سوية الإشارة المسببة للتداخل وتشكيلها ومخطط كسب الهوائي وهندسة الإشارة المسببة للتداخل، قد تكون الضوضاء المركبة غير بيضاء خلال تتابع القياس. وفي هذه الحالة يختلف قياس "الضوضاء فقط" عن الضوضاء في قياس "الإشارة + الضوضاء" وينتج عن ذلك أخطاء في تقدير المعلمة σ_0.

ويمكن حساب الخطأ التقديري للمعلمة σ_0 الذي ينتج عن خطأ قياس "الضوضاء فقط" عن طريق المعادلة التالية:

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

حيث:

$SNR\, \sigma_0$ (dB) = 10 log (S/N) = نسبة الإشارة إلى الضوضاء في عملية تقدير قياس المعلمة σ_0

مع:

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

$$\alpha \text{ (dB)} = 10 \log \left([N + (I_{s+n} / B_{s+n})] / [N + (I_n / B_n)] \right) \quad (2)$$

حيث:

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_n أثناء فترة قياس "الضوضاء فقط"

B_n: عرض نطاق قياس "الضوضاء فقط".

إن تأثير التداخل الخارجي هو الأكثر حساسية في حالة سرعات الرياح الضعيفة. وتبلغ السرعة الدنيا للرياح التي ينبغي لمقياس الانتثار الفضائي قياسها 3 m/s. وقد أظهرت عمليات المحاكاة على الحاسوب لتداخلات غير ثابتة في مقاييس انتثار NSCAT أن القيمة القصوى α (انظر المعادلة (2)) التي تتيح التقيد بمعايير جودة الأداء بالنسبة إلى سرعة رياح بمعدل 3 m/s هي 0,7 dB.

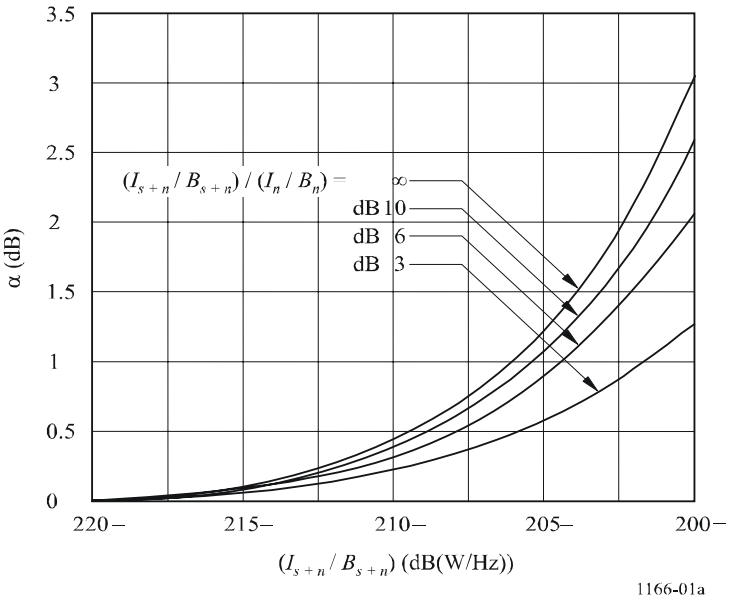
ويمكن تزويد مقاييس الانتثار مستقبلاً بهوائيات بحزمة نقطية بدلاً من هوائيات الحزمة المروحية كما في حالة المقاييس من النمط NSCAT. والاختلافات الرئيسية بين نمطي مقاييس الانتثار، إضافة إلى مخطط بث الهوائي، هي القدرة e.i.r.p. عند الإرسال وكسب هوائي الاستقبال. وأظهرت عمليات محاكاة على الحاسوب أجريت لأغراض التداخل غير الثابت أن القيمة القصوى لـــ α = 6 dB (انظر المعادلة (2)) 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 معطيات مقاييس الانتثار والناجمة عن تداخلات تسببها محطات مرسلة موزعة بشكل عشوائي فوق المحيطات هي 5% من مجموع المعطيات المجمعة فوق المحيطات أجمعها. وفي حالة التداخل النظامي، تبلغ الخسارة المسموح بها 1%. والتداخل النظامي يعني خسارة التغطية لنفس الأمكنة فوق المحيطات في معظم الأحيان التي يتم المرور فوقها. ولقد حسبت هذه القيم القصوى للخسارات المسموح بها انطلاقاً من المعيار العلمي NSCAT (قياس 90% من متجهات الريح فوق مجموع محيطات الكرة الأرضية) ومع مراعاة الخسارات الأخرى في المعطيات الموزعة عشوائياً والمشاهدة خاصة في مناطق تتميز بالهواطل الشديدة.

2.3 معايير التداخل

يقدم الشكل 1a تطبيقاً للمعادلة (2) في حالة مقياس انتشار يمثل الضوضاء الدنيا للمستقبل $N = -200$ dB(W/Hz). وهنا يعبر عن α تبعاً للكثافة الطيفية لقدرة الإشارة المسببة للضوضاء (I_{S+n} / B_{S+n}). وتجدر الإشارة إلى أنه يتم الحصول على قيم مختلفة لـــ α حسب تغير التداخل نسبة إلى الزمن أو إلى عرض النطاق. ويقدم الشكل 1a مجموعة من المنحنيات المقابلة لمختلف قيم المعلمة $10 \log [(I_{S+n} / B_{S+n})/(I_n / B_n)]$.

الشـــكل 1a



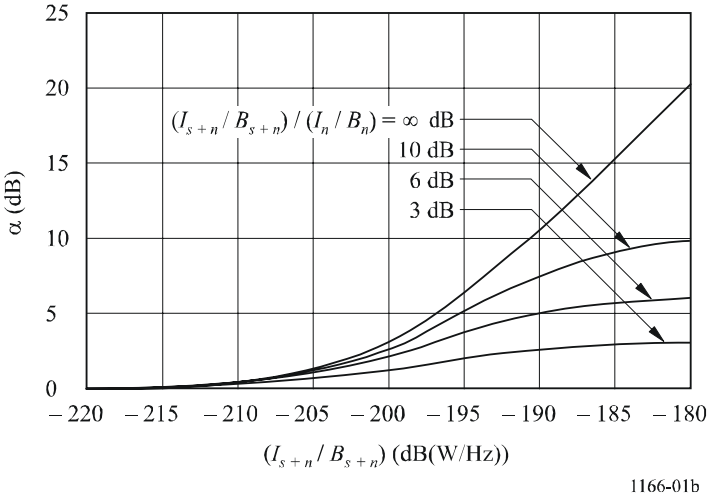
ويبلغ الفاصل الزمني بين فترة قياس "الإشارة + الضوضاء" وفترة قياس مركز "الضوضاء فقط" 0,23 ثانية. وخلال هذا الفاصل الزمني، يكون التحرك الزاوي لمقياس الانتشار الموضوع في الفضاء بالنسبة إلى نقطة معينة من الأرض هو 0,1° تقريباً. وبما أن فتحة حزمة الهوائي المروحية ضيقة (0,42°، عرض حزمة 3 dB)، يمكن توقع تغييرات تبلغ عدة dB في سوية الإشارة المسببة للتداخل المستقبلة عندما تجتاز الفصوص الجانبية لمقياس الانتشار حزمة المرسل. ومن خلال التجارب الهندسية افترض أن التغيير الأقصى الذي يمكن التنبؤ به في $10 \log [(I_{S+n} / B_{S+n})/(I_n / B_n)]$ خلال فترة القياس هو 6 dB. ويمكن القول استناداً إلى الشكل 1a، بأن أقصى كثافة قدرة طيفية مسببة للتداخل يمكن تحملها دون اختلال دقة القياس لأحد الهوائيات المروحية الستة لمقياس الانتشار NSCAT هي –207 dB(W/Hz) أو –174 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 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.

واستناداً إلى الشكل 1b، يمكن القول بأن أقصى كثافة طيفية للقدرة المسببة للتداخل يمكن تحملها دون إحداث انحطاط في دقة القياس لهوائي "الحزمة النقطية" لمقياس الانتشار من النمط NSCAT هي –195 dB(W/Hz). وينبغي التقيد بهذا المعيار بالنسبة لأي عرض نطاق يبلغ 10 kHz داخل عرض النطاق الكامل لقناة المعالجة البالغ 1 MHz.

الشـــكل 1b



وفيما يخص التداخل الشبيه بالضوضاء البيضاء، تكون أقصى كثافة للقدرة 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 يكون تيسر معطيات مقاييس الانتشار أعلى من 95% من جميع الأمكنة التي تغطيها منطقة الخدمة للمحساس عندما تتولد الخسارات بشكل عشوائي وأن يتجاوز 99% في الحالة التي تحصل فيها الخسارة في جميع الأمكنة بشكل منتظم.

4 رادارات قياس الهواطل

يعرض هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لرادارات قياس الهواطل المحمولة في الفضاء في نطاقات التردد 13,25–13,75 GHz و24,05–24,25 GHz و35,5–36,0 GHz. ويمكن استخدام معايير الأداء والتداخل لرادارات قياس الهواطل المحمولة في الفضاء في تحليل مواءمة رادارات قياس الهواطل النشيطة المحمولة في الفضاء وأنظمة الملاحة الراديوية والتحديد الراديوي للمواقع العاملة في هذه النطاقات.

1.4 رادارات قياس الهواطل على أساس مهمة قياس الهواطل المدارية (TRMM)

الرادار TRMM هو أول رادار فضائي (PR) لقياس الهواطل المدارية تمّ إطلاقه عام 1997.

وتمت دراسة أهداف المهمة ومبادئ تصميم الرادار TRMM PR بغية تحديد أهداف جودة الأداء ومعايير التداخل الكفيلة أن تطبق لاحقاً على تقييم ملاءمة رادارات قياس الهواطل وأنظمة الملاحة الراديوية وتحديد المواقع راديوياً. وتتحدد معايير التداخل بالإحالة إلى سوية التداخل المعتبرة ضارة وإلى كمية الخسارة المسموح بها من المعطيات بعد هذا التداخل مع مراعاة أهداف المهمة.

1.1.4 أهداف جودة الأداء

تبغي الأوساط العلمية من الرادار TRMM PR التمكن بعد معالجة المعطيات، من قياس معدلات الهواطل التي تبلغ على الأقل 0,7 mm/h. ولا تؤثر الزيادة في هذه القيمة (0,75 mm/h) تأثيراً ملحوظاً على المعطيات وتكون مقبولة كمعايير لجودة الأداء.

وسيتيح الرادار TRMM قياس معدلات الهواطل في جميع بقاع العالم الواقعة على ارتفاعات بين ± 35° وهي قيمة تحددها زاوية ميل المدار. من المهم تجميع كل المعلومات الممكنة عن معدلات الهواطل، إلا أن القياسات التي تجري في منطقة التقارب المدارية (ITCZ) التي يحددها خط الاستواء وخط العرض 10° شمالاً وفي منطقة تقارب جنوب المحيط الهادئ (الممتدة من

الساحل الأسترالي إلى جنوب المحيط الهادئ (SPCZ)) تتسم بأهمية خاصة. وتتحدد هذه المناطق الأكثر أهمية عادة عن طريق خطوط العرض (0°-10° شمالاً) و(50°-180° شرقاً و0°-10° جنوباً). وللهواطل المدارية دور حاسم في توزيع المياه على الكرة الأرضية وتقع الهواطل الأكثر شدة قرب خط الاستواء ويقع أكثر من ثلثيها في المنطقة الاستوائية. وتحرر هذه الهواطل طاقة تساعد على دوران الرياح الجوية حول مجمل الكرة الأرضية، وتحدد بذلك الطقس والمناخ. كما تلعب الهواطل الاستوائية دوراً رئيسياً في خلق ظواهر مناخية شاذة متفرقة مثل ظاهرة "النينيو" والتي تسبب الفيضانات والجفاف في مختلف مناطق العالم. والحصول على مجموعة المعطيات العلمية لعدة سنوات لقياس الهواطل في الوسط الاستوائي والمنطقة شبه المدارية، أمر حاسم لفهم آليات التفاعل بين المحيطات والجو وكتل الأرض التي تسبب تغييرات في نظام الهواطل والمناخ على الصعيد العالمي. ولا يمكن الحصول على مثل هذه القياسات إلا باستخدام السواتل.

واستناداً إلى ما تقدم، أقر الباحثون في المشروع TRMM أن الحصول على بيانات قياس الهواطل أمر مهم لمعرفة أماكن سقوط الأمطار. والمناطق الأكثر خطورة هي المنطقة ITCZ وفي جوار المناطق الجغرافية "المرجعية" التي يجري إنشاؤها لربط المعطيات الناتجة بواسطة رادارات قياس الهواطل بالقياسات التي تجري في نفس الوقت بوسائل على الأرض. وأحد معايير خسارة المعطيات في المنطقة ITCZ بسبب التداخل العشوائي هو 0,2% من إجمالي المعطيات التي يمكن جمعها.

2.1.4 معايير التداخل

تعادل الزيادة في قياس معدلات الهواطل من 0,7 إلى 0,75 mm/h انحطاطاً في سوية ضوضاء النظام ناجماً عن تداخل شبيه بالضوضاء قدره 10%. وبالتالي ينبغي أن يكون التداخل 10 dB تحت سوية ضوضاء النظام. وبما أن سوية ضوضاء النظام تبلغ –140 dBW وأن عرض النطاق النهائي لرادار مقياس الهواطل هو 600 kHz، فإن معيار التداخل الضار هو –150 dB(W/600 kHz). ويكون معيار التداخل المسموح به خارج النطاق 12 MHz الواقع بين 13,793 GHz و13,805 GHz، أعلى بكثير بسبب ترشيح نطاق المرور في المستقبل: –115 dBW بالنسبة إلى النطاق 13,790-13,793 GHz والنطاق 13,805-13,808 GHz و–90 dBW بالنسبة إلى النطاقين 13,75-13,79 GHz و13,808-13,850 GHz و–70 dBW بالنسبة إلى النطاق 13,85-13,86 GHz. وفي النطاق 35,5-36,0 GHz يكون معيار سوية التداخل الضار هو –152 dB(W/600 KHz).

وفي نطاقات الترددات المتقاسمة، يتجاوز تيسر معطيات القياس بالرادار نسبة 99,8% من مجموع المواقع التي تغطيها منطقة خدمة المحساس في حالة الخسارات التي تحصل عشوائياً.

2.4 رادارات قياس الهواطل على أساس متابعة الساتل TRMM

1.2.4 مقدمة

يقدم هذا الملحق الخصائص التقنية ومعايير الأداء والتداخل لرادار قياس الهواطل المحمول جواً في التردد 35 GHz، كمثال آخر للمحاسيس النشيطة التي ستستخدم النطاق 35,5-36,0 GHz.

2.2.4 رادارات قياس الهواطل على أساس متابعة الساتل TRMM

أطلق أحد سواتل قياس الهواطل المدارية (TRMM) بنجاح في نوفمبر 1997، ومنذ ذلك الوقت يرسل الساتل مجموعة بيانات عالمية فريدة من نوعها وعظيمة الفائدة عن توزيع الأمطار، ويثبت فوائد هذه البيانات في مجالات المناخ والتنبؤات الجوية والهيدرولوجيا، إلخ. وسيكون الخَلَفُ لساتل TRMM هو بعثة متابعة تم التخطيط لها.

وعملاً على توسيع التغطية (بالمقارنة بخط عرض 35° في حالة الساتل TRMM) يتطلب الأمر زيادة منطقة الرصد وتحقيق قياسات أكثر حساسية في بعثة المتابعة. من أجل ذلك تم التخطيط لوضع رادار لقياس الهواطل في التردد 35 GHz ورادار آخر لقياس الهواطل في التردد 13 GHz على ساتل المتابعة. ويبين الجدول 3 إطار ساتل المتابعة.

الجـــدول 3

إطار ساتل قياس الهواطل في بعثة المتابعة

الغرض	قياس توزيع الأمطار على نطاق العالم
ارتفاع المدار	400 km (تجريبي)
ميل المدار	º75-º60
المحاسيس على الساتل	رادار قياس الهواطل في التردد 13 GHz رادار قياس الهواطل في التردد 35 GHz ماسح تصويري بالموجات الصغيرة (ميكروويف)، بقياس راديوي مرئي/بالأشعة تحت الحمراء، إلخ.

3.2.4 الخصائص التقنية لرادارات قياس الهواطل في التردد 35 GHz

يبين الجدول 4 الخصائص التقنية لرادار قياس الهواطل في التردد 35 GHz، وهو رادار يعتبر من الأدوات التي ستوضع على متن ساتل رادار قياس الهواطل في مهمة المتابعة. والمهمة الرئيسية لرادار قياس الهواطل في التردد 35 GHz هي إجراء قياسات عالية الحساسية. وهدف الانعكاسية الدنيا المكشوفة للرادار هو 14 dBZ على الأقل، ومعدل الهطول الناتج هو أقل من 0,2 mm/h، وهو ما لا يمكن تحقيقه باستعمال رادار قياس الهواطل في التردد 13 GHz. وبالمقارنة برادار قياس الهواطل في التردد 13 GHz فإن وظيفة المسح للحزمة في الرادار 35 GHz تبدو محدودة. ويجب ضبط حزمة الهوائي على النظير أو على مسح منطقة على مسافة لا تبعد عن النظير إلا بدرجات محدودة.

الجـــدول 4

خصائص رادار قياس الهواطل في التردد 35 GHz في بعثة المتابعة TRMM (مؤقتة)

التردد	35,55 GHz
قدرة الذروة للإرسال	200 W
عرض النبضات	1,67 µs
تردد تكرار النبضات	2 627 Hz
التشكيل النبضي	لا يوجد
كسب الهوائي	51,5 dBi
توجيه الهوائي	نظير أو مسح محدود
قطر الهوائي	1,2 m (الكفاءة = 0,7)
عرض حزمة الهوائي	º0,5
الاستبانة الأفقية	3,5 km
عرض نطاق الإرسال RF	14 MHz
عرض نطاق المستقبل عند القاعدة	600 kHz
سوية ضوضاء النظام (NF = 4 dB)	−142 dB(kHz 600/W)
خسارة خط تغذية المرسل/المستقبل	2,5 dB

4.2.4 معايير الأداء والتداخل

1.4.2.4 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 الهواطلً في بعثة المتابعة هو قياس معدلات الهطول التي تقل عن 0,2 mm/h. ولهذا السبب حددت أدنى انعكاسية رادارية مكشوفة قدرها 14 dBZ باعتبارها معيار جودة الأداء لرادار قياس الهواطل 35 GHz.

2.4.2.4 معايير التداخل

تناظر انعكاسية الرادار 14 dBZ معدل هطول يبلغ 0,15 mm/h. وقد تنقص هذه القيمة على 0,2 mm/h، وهذا الانحطاط في الأداء يناظر زيادة 10% في حرارة ضوضاء النظام، أو زيادة قدرها نحو 0,5 dB في سوية ضوضاء النظام. وهذا المعيار هو نفسه تقريباً لرادار قياس الهواطل 13 GHz. ومن ناحية معيار خسارة البيانات نتيجة التداخل، يمكن استعمال نفس معايير رادار قياس الهواطل 13 GHz لرادار 35 GHz. وفيما يلي ملخص لمعايير التداخل لرادار قياس الهواطل 35 GHz:

- سوية التداخل المسموح بها هي −152 dB(W/600 kHz)؛
- الخسارة المسموح بها للبيانات نتيجة التداخل هي 0,2%.

5 رادارات الفتحة التركيبية (SAR)

يعرض هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لمحاسيس رادارات المسح النشيطة المحمولة في الفضاء في النطاقات 438-432 MHz، و215-300 1 MHz 1 و100-300 3 MHz 3 و250-570 5 MHz 5 و550-650 8 MHz 8، و300-900 9 MHz 9. ويمكن استعمال معايير الأداء والتداخل في تحليل التوافق بين محاسيس رادار التصوير المحمول في الفضاء وأنظمة الملاحة الجوية والتحديد الراديوي للمواقع.

1.5 معايير الأداء لرادارات الفتحة التركيبية

تُستعمل رادارات الفتحة التركيبية (SAR) في الفضاء أساساً 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 0,2−1,5 ثانية. وأي إشارات تتداخل أثناء زمن الفتحة هذا إنما تؤثر على المسح التصويري للمنطقة المصورة. وكثير من الرادارات ذات الفتحة التركيبية تقوم أساساً بتصوير اليابسة وتلامُس اليابسة مع الماء عند الشواطئ. ويُختار لغرض التجارب عدد محدود من المواقع المختارة لمسحها على مدى زوايا الرؤية مع الاختلاف البسيط الذي يحدث في تكرار المدار كل 1-8 أيام. ومن شأن أي تداخل يؤثر على البيانات من موقع تجريبي على الأرض أثناء أي تتابع لزاوية الرؤية أن يؤثر على الأداء. ومن الاستعمالات الأخرى لرادارات الفتحات التركيبية إنتاج خرائط وطبوغرافية لاستعمالها في نماذج الارتفاعات الرقمية. وتستخدم بعض هذه الرادارات مقياساً للتداخل عند كل دورة من دورات المرور من أجل الحصول على الخرائط الطوبوغرافية. ويؤثر التداخل في أيٍّ من دورات المرور تأثيراً سيئاً على الأداء. وقد استُخدم أحد الرادارات ذات الفتحات التركيبية في طيران في مدار متكرر على مدى عشرة أيام على ارتفاع 233 km، وقام بجمع بيانات أساسية ثابتة عن قياس التداخل أثناء الممرات الصاعدة باستخدام النطاقين 250 5−350 5 MHz و500 9-800 9 MHz وفي نفس الوقت يجمع بيانات الرادار العادية باستخدام النطاق 215 1-300 1 MHz. وقام هوائي استقبال ثانٍ محمول على ذراع على مسافة 30 متراً من الهوائي الرئيسي بجمع بيانات في نفس الوقت مع الهوائي الرئيسي، في النطاقين 250 5−350 5 MHz و500 9-800 9 MHz، ومن ثم أمكن له تقديم بيانات عن قياس التداخل دون حاجة إلى تكرار المسار. وأمكن باستعمال أسلوب المسح بالرادار ذي الفتحة التركيبية، في

النطاق 250 5-350 5 MHz، جمع بيانات على مدى فسحة يبلغ اتساعها 230 كيلومتراً وتغطية شاملة بين خطي العرض $^{o}60\pm$. ومن شأن أي تداخل في أيٍّ من الإشارات التي يتم استقبالها في ذات الوقت أن يؤثر تأثيراً سيئاً على أداء المحساس.

وتتطلب مهمة التصوير الطوبوغرافي بواسطة رادار الفتحة التركيبية التقاط 99% من البيانات 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، إلخ.

والمطلوب هو تيسُّر 99% من البيانات عن طريق رادار الفتحة التركيبية، بافتراض أن الخسارات هي قصيرة المدى وعشوائية على مدى فترة التقاط البيانات ومناطق التقاطها. والتداخل في موقع جغرافي معين وعلى أساس منتظم يمثل مشكلة خطيرة، خاصة إذا كان في أحد المواقع المختارة للتجربة، والتي قد تجري فيها في نفس الوقت تجارب للتحقق من البيانات. ويمكن للتداخل في موقع جغرافي معين لمهمة المسح الراداري الطوبوغرافي أن يتسبب في وجود ثغرة في خريطة التغطية العالمية.

2.5 معايير التداخل لرادارات الفتحة التركيبية

تم تحديد معايير التداخل لرادارات المسح التصويري المحمولة في الفضاء باعتبارها نفس المعايير الواردة في الجدول 2. وفي هذا الجدول، تُعرّف معايير التداخل لرادارات الفتحة التركيبية باعتبارها نسبة التداخل إلى الضوضاء عند –6 dB، وهي تمثل 10% من انحطاط الأداء للانحراف المعياري لقدرة رادار الفتحة التركيبية بالبيكسل.

ويمكن أن تزداد سوية التداخل عن هذا الحد باعتبار أثر تخفيف التداخل الناتج عن توهين المعالجة في الرادار وخصائص التشكيل لأنظمة التحديد الراديوي للمواقع/الملاحة الراديوية العاملة في نفس النطاق. ويمكن تجاوز هذه السويات لنسبة مئوية تقل عن 1 في المائة من الصور إذا كان التداخل يحدث بصورة متكررة وعن 5% إذا كان التداخل يحدث عشوائياً.

ويتم معالجة البيانات الخام للرادار من حيث المدى والسمت من أجل إنتاج صورة رادارية. وتوزَّع 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 و40 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 سوية الدخل للضوضاء درجات مختلفة من كسب المعالج حسب نوع تشكيل شكل الموجة.

1.2.5 كسب المعالجة للضوضاء

تتكون ضوضاء النظام، كما هي عند بوابة الهوائي، أساساً من ضوضاء الهوائي وضوضاء المستقبِل الأمامي. ويمكن عمل نموذج لهذه الضوضاء باعتبارها عملية ضوضاء بيضاء وثابتة وغوسية. وروابط المعالج هو من حيث المبدأ مرشاح يناسب النبضات الخطية FM أو الزقزقية. ويبلغ كسب معالجة المدى للضوضاء 0 dB. ويبلغ كسب معالجة السمت N^2 للتكامل المتماسك للدورات N أثناء الفتحة التركيبية وN للضوضاء. ويحتاج الأمر إلى زمن التكامل للفتحة التركيبية وتردد مناسب لتكرار النبض (PRF) من أجل معالجة البيكسلات في حجم استبانة معين في السمت ρ_{AZ}، على النحو التالي:

$$G_{N_{AZ}} = T_I PRF$$

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

$$PRF = 1.2 \frac{v}{\rho_{AZ}}$$

حيث:

G_{NAZ}: كسب معالجة السمت

T_I: زمن التكامل لسمت الرادار ذي الفتحة التركيبية

PRF: تردد تكرار النبض

λ: طول الموجة

R_S: المسافة المائلة

v: سرعة منصة المركبة الفضائية

L_{eff}: طول الهوائي الفعلي في السمت

ρ_{AZ}: استبانة السمت.

وعلى سبيل المثال، بالنسبة للرادار ذي الفتحة التركيبية SAR3 بالقرب من GHz 9,6، λ = m 0,0312، وR_S = km 535,8 عند زاوية ورود º20 وv = km/s 7,05 وL_{eff} = m 1,56؛ إذاً T_I = s 1,52. وإذا كانت ρ_{AZ} = m 1، إذاً PRF = Hz 8 460، ويكون كسب معالجة السمت للضوضاء G_{NAZ} هو dB 41,1.

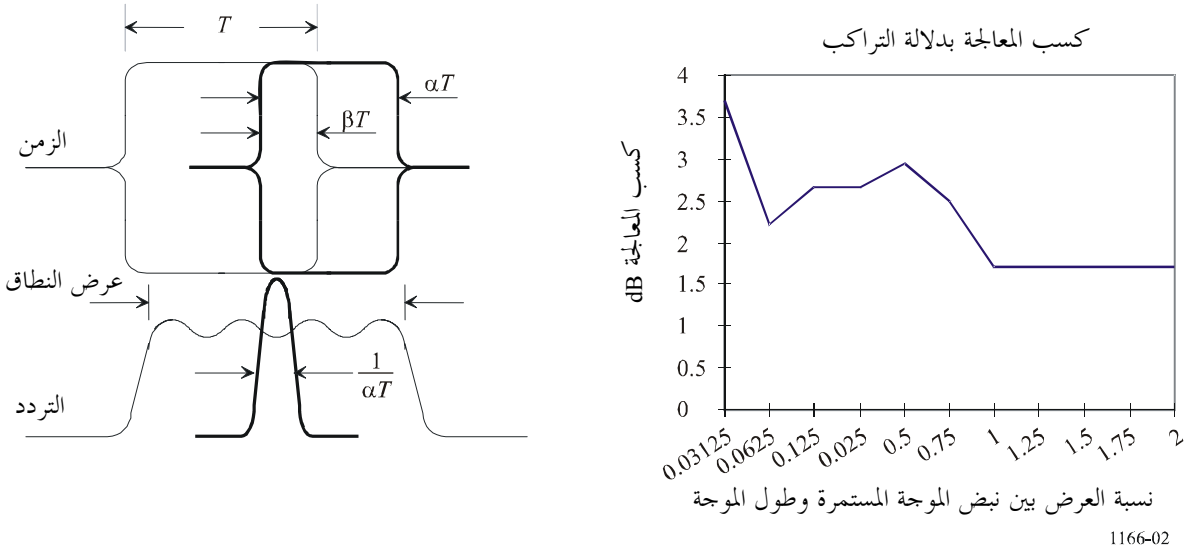
2.2.5 كسب المعالجة للمدى لإشارات التداخل

1.2.2.5 التداخل النبضي في الموجة المستمرة

بافتراض أن التردد المركزي لإشارات الموجة المستمرة للتداخل النبضي يقع في إطار تردد نطاق المعالجة فإن كسب المعالجة للتداخل الناتج عن الضوضاء يختلف باختلاف عرض نبض الموجة المستمرة بالنسبة إلى العرض الخطي للنبض FM، والنسبة المئوية لمنطقة التراكب، كما هو مبين في الشكل 2.

الشـــكل 2

خصائص الزمن والتردد لطول الموجة والنبض



وبافتراض أن عرض نبض التداخل أقل من عرض نبض طول الموجة وأنه مغلف بطول الموجة (أي أن $\beta = \alpha$)، فإن الشكل 2 يبين كسب المعالجة بالنسبة إلى عرض النبض النسبي.

2.2.2.5 إشارات التداخل للموجة المستمرة

يُفترض أن التردد المركزي للتردد الراديوي (RF) لإشارة التداخل من الموجة المستمرة (CW) سيكون في نطاق تردد المعالجة. ويكون كسب المعالجة للموجة المستمرة (CW) هو dB 2,3 عند تساوي سوية إشارة التداخل وسوية الضوضاء. وفي كل بيكسل للصورة، وهو ما ينطبق على نبض الموجة المستمرة الذي له نفس عرض النبض الزقزقي، تكون نسبة العرض هي 1.

3.2.2.5 إشارات التداخل على التردد الخطي FM

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

لنفرض أن الإشارة الزقزقية *f(t)* تمثلها المعادلة التالية:

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

حيث:

rect(*t*): هي دالة مثلث العرض الأُحادي

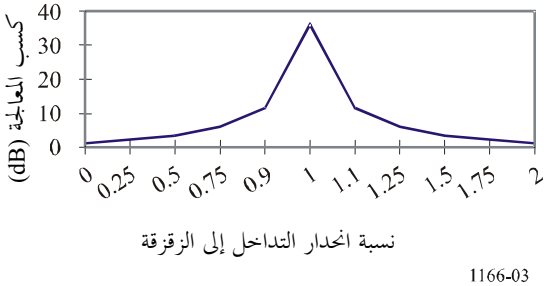
f_0: RF هو تردد الموجة الحاملة

μ: هي الانحدار.

ويختلف كسب المعالجة لنبض التداخل باختلاف نسبة الانحدار |μ′/μ| لنفس عرض النبض تقريباً (أي أن α = 1) كما هو مبين في الشكل 3. وانحدار نبض التداخل هو |μ′| وانحدار زقزقة الرادار هوμ.

الشـــكل 3

كسب المعالجة للتداخل الخطي FM



1166-03

4.2.2.5 أشكال موجات التداخل/تشكيل التداخل 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. ومع ذلك، ورغم أن كسب معالجة المدى ليس مشمولاً هنا، فإن كسب المعالجة للسمت له صلة بأشكال الموجات النبضية تلك.

3.2.5 كسب المعالجة للسمت لإشارات التداخل النبضية

تُجرى معالجة السمت للرادار ذي الفتحة التركيبية (SAR) من خلال مجموع رجع 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 تدرّج الإشارة المتداخلة في كل نافذة مدى باختلاف الرجع لأن الرادار الأرضي ورادار

الفتحة التركيبية لهما تردد مختلف لتكرار النبضات. ويتبين من التحليلات السابقة باستعمال محاكاة نوافذ المدى المتتابعة وتجميع الرجع أثناء مهلة التكامل SAR بالنسبة للإشارة النبضية المتداخلة أن القدرة الآنية للذروة لنبضات التداخل المعالجة بالنسبة للسمت تختلف ما بين 0 dB و9,5 dB.

4.2.5 حساب التداخل المسموح به

يمكن أن تختلف سويات التداخل المسموح به المبينة أعلاه عندما يؤخذ في الاعتبار أثر تخفيف التداخل في تمييز المعالجة للرادار SAR وخصائص التشكيل لأنظمة التحديد الراديوي للمواقع/الملاحة الراديوية التي تعمل في النطاق. وتكون قدرة إشارة التداخل المسموح بها (P_I) كالتالي:

$$P_I = I/N \cdot P_N \cdot \frac{G_{N_{AZ}}}{G_{I_{AZ}}} \cdot \frac{G_{N_{RNG}}}{G_{I_{RNG}}} \quad (2)$$

حيث:

I/N: نسبة التداخل إلى الضوضاء عند خرج المعالج.

P_N: قدرة الضوضاء عند بوابة الهوائي

G_{NAZ}: كسب المعالجة للضوضاء عند السمت

G_{IAZ}: كسب المعالجة للإشارة المتداخلة عند السمت

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 السمت. وعادة ما يكون كسب معالجة المدى للتداخل بسيطاً، أي أقل من 4 dB؛ ومع ذلك، فإن كسب معالجة التداخل عند السمت هي أقل منها للضوضاء بنحو 20 dB إلى 40 dB عادةً. وعلى سبيل المثال، ففي حالة الرادار ذي الفتحة التركيبية على النطاق العريض في التردد 9,6 GHz الذي يتعرض للتداخل من رادار محمول جواً فإن كلا الرادارين يستعمل النبضات FM الخطية بانحدار زقزقي مختلف اختلافاً واسعاً. فالانحدار الزقزقي للرادار SAR هو 45-450 MHz/µs بينما الانحدار الزقزقي للرادار المحمول جواً هو 0,5 MHz/µs. وتبلغ نسبة الانحدار الزقزقي المتداخل إلى الانحدار الزقزقي للرادار SAR $|\mu'/\mu|$ من 0,001 إلى 0,01، بينما كسب المعالجة للمدى المناظر يبلغ نحو 2,3 dB كما يتضح من الشكل 3. وإذا كانت I/N تساوي –6 dB، وP_N = -83,7 dBm وG_{IAZ}/G_{NAZ}=41,1 dB وG_{IRNG}/G_{NRNG} = –2,3 dB. ففي هذه الحالة لا تتجاوز P_I –50,9 dBm. ويبين الجدول 5 حساب كسب المعالج للضوضاء وأدنى إشارة رجع صدى مرغوبة (SNR = 0 dB) والإشارة المتداخلة في حالة SAR3 في التردد 9,6 GHz، المعرضة للتداخل من إشارات من رادار محمول جواً.

الجـــدول 5

كسب معالجة المدى وكسب معالجة السمت للضوضاء، والإشارة، والتداخل، للرادار SAR3 في التردد GHz 9,6

نوع الإشارة	قدرة الدخل (dBm)	كسب معالجة المدى (dB)	كسب معالجة السمت (dB)	قدرة الخرج (dBm)
الضوضاء	83,7–	0,0	41,1	42,6–
الإشارة المرغوبة الدنيا	151,3–	26,5	82,2	42,6–
أقصى إشارة تداخل مقبولة	44,9–	2,3	0,0 إلى 9,5	34,8– إلى 42,6–

5.2.5 خصائص إشارة الدخل/الخرج لرادارات SAR العاملة في النطاقين 432-438 MHz و215 1-300 1 MHz

تساوي إشارة التداخل القصوى المقبولة عند الخرج سوية ضوضاء النظام أو ضوضاء هوائي الاستقبال عند الخرج. ويبين الجدول 6 خصائص إشارة الدخل/الخرج للضوضاء، والإشارة الدنيا المطلوبة، وأقصى إشارة للتداخل، مع مراعاة كسب المعالجة للمدى والسمت. وهذه السويات مبينة للنطاقين 432-438 MHz و215 1-300 1 MHz.

الجـــدول 6

خصائص إشارة الدخل/الخرج للرادارات SAR في النطاقين 432-438 MHz* و215 1-300 1 MHz

نوع الإشارة	قدرة الدخل (dBm)	كسب معالجة المدى (dB)	كسب معالجة السمت (dB)	قدرة الخرج (dBm)
الضوضاء	97,7– (103,4–)	0,0 (0,0)	30,6 (33,0)	67,1– (70,4–)
الإشارة الدنيا المطلوبة	156,5– (164,2–)	28,2 (27,8)	61,2 (66,0)	67,1– (70,4–)
أقصى إشارة تداخل مقبولة[1]	69,4– (72,7–)	2,3 (2,3)	0 إلى 9,5 (0 إلى 9,5)	67,1– إلى 57,6– (70,4– إلى 60,9–)

* القيم الخاصة بالنطاق 432-438 MHz واردة بين أقواس.

[1] تنطبق على مصادر التداخل النبضية في غير التردد FM التي لا تزيد دورات النبض فيها عن 2 µs. وتختلف السويات لفترات النبض الأخرى بما لا يتجاوز ± 0,6 dB.

6.2.5 خصائص إشارة الدخل/الخرج لرادارات SAR العاملة في النطاقين 100 3-300 3 MHz و250 5-570 5 MHz

أقصى تداخل مقبول لإشارة الخرج يساوي سوية ضوضاء النظام، أو ضوضاء هوائي الاستقبال عند الخرج. ويبين الجدول 7 خصائص إشارة الدخل/الخرج للضوضاء، وأدنى إشارة مطلوبة، وأقصى إشارة للتداخل، مع مراعاة كسب المعالجة في المدى وفي السمت. والسويات المبينة هي للرادارات المُفترض وجودها. وبالنسبة للنطاق 250 5–350 5 MHz، استُعملت معلمات الهوائي الرئيسي. ومع ذلك فقد تستخدم بعثة قياس التداخل الطوبوغرافي نبضاً بعرض 66 µs من أجل زيادة قدرة الإشارة واستخدام ذراع هوائي يبلغ طوله 8 أمتار فقط مع مكبر منخفض الضوضاء (LNA) على كل سارية في الارتفاع من أجل تخفيض سوية الضوضاء.

وفيما يتعلق بالحالة الاسمية، يبين الجدول المستوى الذي تكون فيه الإشارة المسببة للتداخل في الدخل مساوية لنفس قدرة الضوضاء عند خروجها. وعند سويات الدخل هذه لا يحدث تشبُّع خلفي عند المستقبل، لأن التشبُّع لن يحدث إلا بعد 18 dB أخرى. وتبلغ نقطة الانضغاط الأمامية للمستقبل بقدرة 1 dB عند الدخل –22 dBm. وتبلغ القدرة القصوى لدخل

المستقبِل +37 dBm. ومن ثم فإن الحد الأقصى المقبول لإشارة التداخل لا يزال أقل بكثير من الحد الذي يحدث عنده تشبُّع أو من أقصى قدرة يمكن معالجتها.

الجـــدول 7

خصائص إشارة الدخل/الخرج لرادارات SAR في النطاقين 100 3 – 300 3 MHz* و250 5 – 570 5 MHz

نوع الإشارة	قدرة الدخل (dBm)	كسب معالجة المدى (dB)	كسب معالجة السمت (dB)	قدرة الخرج (dBm)
الضوضاء	96,7– (99,3–)	0,0 (0,0)	24,2 (27,7)	72,5– (71,6–)
الإشارة الدنيا المطلوبة	149,1– (156,0–)	28,2 (29,0)	48,4 (55,4)	72,5– (71,6–)
أقصى إشارة تداخل مقبولة(1)	74,8– (73,9–)	2,3 (2,3)	9,5 إلى 0 (9,5 إلى 0)	72,5– إلى 63,0– (71,6– إلى 62,1–)

* القيم الخاصة بالنطاق 100 3-300 3 MHz واردة بين أقواس.

(1) تنطبق على مصادر التداخل النبضية في غير التردد FM التي لا تزيد دورات النبض فيها عن 2 µs. وتختلف السويات لفترات النبض الأخرى بما لا يتجاوز ± 0,6 dB.

7.2.5 خصائص إشارة الدخل/الخرج لرادارات SAR التي تعمل في النطاقين 550 8-650 8 MHz و300 9-900 9 MHz[1]

يساوي الحد الأقصى المقبول لإشارة التداخل عند الخرج سوية ضوضاء النظام، أو ضوضاء هوائي الاستقبال عند الخرج. ويبين الجدول 8 خصائص إشارة الدخل/الخرج للضوضاء، والحد الأدنى المطلوب للإشارة، والحد الأقصى للإشارة المتداخلة، مع مراعاة كسب المعالجة في المدى وفي السمت. ومنه يتبين أن إشارة التداخل المنخفضة التي تتراوح من –74,5 إلى –75,0 dBm عند الدخل تساوي نفس قدرة الضوضاء عند الخرج. وعند هذه السوية لا يحدث تشبُّع خلفي عند المستقبِل لأن التشبُّع لا يحدث إلا عندما تصل إشارة الدخل إلى –56 dBm عندما يبلغ كسب المستقبِل 60 dB. تعادل نقطة الانضغاط عند الطرف الأمامي للمستقبِل البالغة 1 dB القيمة –22 dBm عند مقدار الدخل. وتبلغ القدرة القصوى التي يمكن معالجتها عند دخل المستقبِل +37 dBm. ومن ثم فإن الحد الأقصى المقبول لإشارة التداخل وهو –74,5 إلى –75,0 dBm لا يزال أدنى بكثير من السوية المطلوبة للتشبُّع أو من القدرة القصوى التي يمكن معالجتها.

الجـــدول 8

خصائص إشارة الدخل/الخرج لرادارات SAR في النطاقين 550 8-650 8 MHz* و300 9-900 9 MHz

نوع الإشارة	قدرة الدخل (dBm)	كسب معالجة المدى (dB)	كسب معالجة السمت (dB)	قدرة الخرج (dBm)
الضوضاء	94,0– (94,5–)	0,0 (0,0)	21,8 (21,8)	72,2– (72,7–)
الإشارة الدنيا المطلوبة	145,3– (145,8–)	29,5 (29,5)	43,6 (43,6)	72,2– (72,7–)
أقصى إشارة تداخل مقبولة(1)	74,5– (75,0–)	2,3 (2,3)	9,5 إلى 0 (9,5 إلى 0)	72,2– إلى 62,7– (72,7– إلى 63,2–)

* القيم الخاصة بالنطاق 100 3-300 3 MHz واردة بين أقواس.

(1) تنطبق على مصادر التداخل النبضية في غير التردد FM التي لا تزيد دورات النبض فيها عن 2 µs. وتختلف السويات لفترات النبض الأخرى بما لا يتجاوز ± 0,6 dB.

[1] انظر المقررات ذات الصلة الصادرة عن المؤتمر WRC-07.

8.2.5 معايير التداخل

معايير الانحطاط غير المقبول في الأداء لرادارات الفتحة التركيبية لقياس التداخل الطوبوغرافي أو للتصوير هي القدرة القصوى لما يلي:

MHz 438-432	–109 dBW/6 MHz
MHz 1 300-1 215	–106 dBW/20 MHz
MHz 3 300-3 100	–110 dBW/20 MHz
MHz 5 570-5 250	–111 dBW/20 MHz
MHz 8 650-8 550	–111 dBW/20 MHz
MHz 9 900-9 300	–110 dBW/20 MHz*

* انظر المقررات ذات الصلة الصادرة عن المؤتمر WRC-07.

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

9.2.5 معيار التيسُّر

في نطاقات التردد المتقاسمة يجب أن يزيد تيسُّر بيانات الرادار SAR عن 99% من جميع المواقع الجغرافية المستهدفة باعتبارها مواقع مختارة أو للتغطية العالمية للخرائط الطوبوغرافية.

6 رادارات المنظر الجانبي للسحب

يقدم هذا القسم معلومات عن معايير الأداء والتداخل لمحاسيس رادارات رصد السحب المحمولة في الفضاء في نطاقات التردد GHz 94,1-94,0 وGHz 134,0-133,5 وGHz 238-237,9.

1.6 معايير الأداء لرادارات رصد السحب في التردد GHz 94

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 –30 dBZ.

2.6 معايير التداخل لرادارات رصد السحب

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 –155 dBW عند 300 kHz.

3.6 معايير التيسُّر 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.