الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R SM.2454-0 التقرير

(2019/06)

تقنيات مراقبة الطيف في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية

السلسلة **SM**

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات

تمهيد

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

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REP/en)

السلسلة	العنوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
RS	أنظمة الاستشعار عن بُعد
S	الخدمة الثابتة الساتلية
SA	التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية
SF	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2020

© ITU 2020
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).

التقرير ITU-R SM.2454-0

تقنيات مراقبة الطيف في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية

(2019)

لمحة عامة

يستخدم مئات الملايين من الأشخاص حول العالم أنظمة الملاحة الساتلية. وتعد خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) مفتاح العديد من التطبيقات مثل الملاحة والتشوير الزمني. وتستخدم الحكومات ودوائر الصناعة والأفراد هذه الخدمات في حياتهم اليومية وفي السيناريوهات الحرجة للسلامة. ولكي تعمل هذه الخدمات، تلزم درجة عالية من الموثوقية والتيسر والدقة لهذه الإشارات.

وتوجد أنظمة ملاحة راديوية مختلفة (من الفضاء إلى الأرض). وهي إما مصممة للتغطية العالمية (GNSS – النظام العالمي للملاحة الساتلية) أو التغطية الإقليمية. وهي جميعها سريعة التأثر بتداخل الترددات الراديوية (RFI) لأن قدرة الإشارة المستقبَلة على الأرض منخفضة للغاية بالنسبة إلى المرسِلات القائمة على الأرض. وتُتخذ تدابير تقنية للسماح بفصل جيد للإشارة عن ضوضاء المستقبِل. ومن ناحية أخرى، يمكن أن يؤدي التداخل أو الضوضاء المفرطة إلى عدم تيسر الإشارة على مساحة واسعة. ويمكن أن يأتي تداخل الترددات الراديوية هذا من مرسِلات تعمل في نطاقات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) و/ أو في نطاقات مجاورة أو قريبة.

ويساور القلق مشغلي أنظمة الملاحة الساتلية بشأن التداخل على استقبال إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) واستخدام أجهزة التشويش غير القانونية. وأنشأت اللجنة الدولية المعنية بالأنظمة العالمية لسواتل الملاحة (ICG) فريق مهام كشف التداخل والتخفيف من آثاره (IDM) لوضع استراتيجية لدعم آليات كشف مصادر التداخل الكهرمغنطيسي والتخفيف من آثارها. وأعربت تقارير أعضاء فريق المهام هذا من الاتحاد الأوروبي والصين والولايات المتحدة الأمريكية وروسيا عن قلقهم بشأن إشكالات التداخل وقدموا أمثلة على التأثير السلبي للتداخل.

ومما يثير القلق بوجه خاص زيادة تيسر واستخدام أجهزة التشويش غير القانونية على النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)، مما يؤدي إلى أعطال في المستقبِلات. وتُعرض أجهزة التشويش هذه للبيع علناً عبر الإنترنت، وهي سهلة الاستخدام للمستهلك. ونظراً لانخفاض شدة إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على الأرض، يمكن أن تكون المساحة المتأثرة بجهاز التشويش المنخفض القدرة كبيرة جداً.

ويصف هذا التقرير تقنيات مراقبة طيف نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) بمعزل عن تشغيل أنظمة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) الفعلية. والغرض من المراقبة هو تقييم ظروف استقبال إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). ويمكن استخدام التقنيات الموضحة في هذا التقرير لمراقبة الإشارات المطلوبة وكشف مصادر التداخل وتحديد مواقعها، وحتى دعم دراسات المؤثرات المتعلقة بالانتشار.

جدول المحتويات

الصفحة

1 منهجية مراقبة الطيف في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية 4

1.1 الوصف العام 4

2.1 تحليل المعلومات عن محطات راديوية تقوم بالإرسال في الجوار القريب 4

3.1 إجراء القياسات وتسجيل الأطياف وحساب القيم المميزة 4

4.1 رسم مخططات التوزع المكاني للبث وزوايا ورود قدرة الطيف 8

5.1 تقييم النتيجة 9

2 متطلبات معدات المراقبة 9

1.2 المتطلبات العامة 9

2.2 متطلبات معدات القياس 11

3 مثال عملي على المراقبة في نطاقات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) 11

1.3 أجهزة القياس لمراقبة نطاق التردد لنظام GLONASS 11

2.3 نقطة القياس 12

3.3 تحليل التخصيصات الترددية 12

4.3 إجراء القياسات وتسجيل الأطياف وحساب القيم المميزة 12

5.3 رسم المخططات وتحليل النتيجة 15

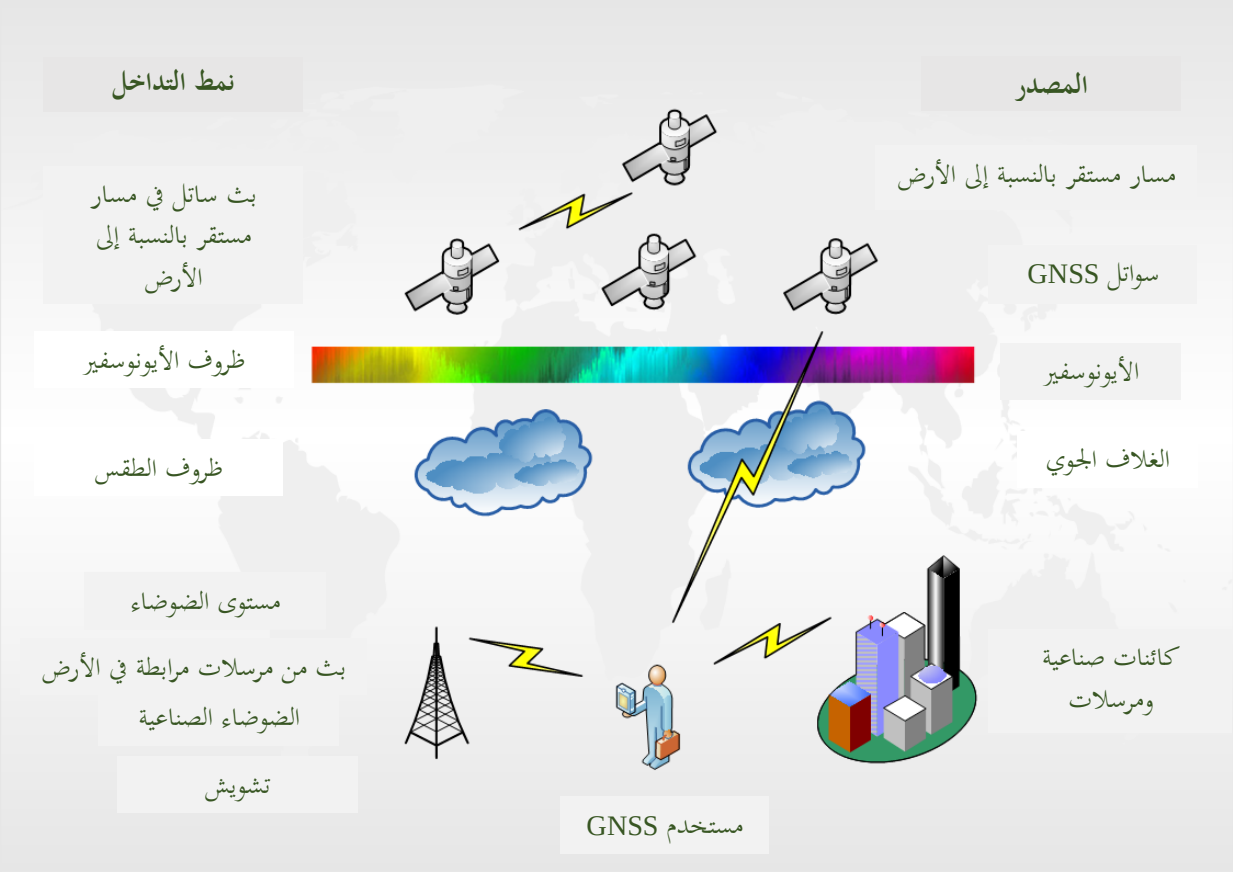
مقدمة

يصف هذا التقرير أساليب مراقبة الطيف في نطاقات التردد المستخدمة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS).

تشغِّل مستقبلات خدمات الملاحة الراديوية، مثل أنظمة الملاحة العالمية الساتلية، بمستويات إشارة منخفضة للغاية، مما يجعلها سريعة التأثر بالتداخل والضوضاء. ويؤدي ذلك إلى تقليل دقة توقيت المعدات، مما يؤدي في النهاية إلى قيام الجهاز بالإبلاغ عن معلومات غير صحيحة عن الموقع. وبسبب الاستخدام الواسع النطاق لهذه المستقبلات، للملاحة الراديوية للطيران، أو كمرجع ترددي للمرسلات اللاسلكية على سبيل المثال، يمكن أن يكون للتداخل على هذه النطاقات عواقب وخيمة. ويمكن أن تساعد مراقبة الطيف في حماية طيف خدمة الملاحة الراديوية الساتلية من خلال كشف البث الأرضي غير المطلوب الذي يمكن أن يشوش على إشارة خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). وترد في الشكل 1 المصادر المحتملة لهذا البث في نطاقات التردد هذه.

الشكل 1

المصادر المحتملة للبث والتداخل على إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)



تُعتبر التقنيات الموصوفة في هذا التقرير مناسبة تماماً لمستويات الإشارة المنخفضة المرتبطة بخدمات الملاحة الساتلية. علاوة على ذلك، تظهر أساليب لتبسيط تصور بيانات المراقبة المعقدة، مما يساعد على تقييم العديد من نقاط القياس. ويسمح ذلك بمراقبة كامل نطاق التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)، وليس مجرد إرسال واحد.

وتؤدي نتائج القياسات إلى استنتاجات بشأن مستوى ضوضاء الخلفية الكهرمغنطيسية ووجود إرسالات ضارة محتملة في نطاق التردد في الموقع الدقيق للقياسات.

ويتضمن التقرير وصفاً عاماً للمنهجية ومثالاً عملياً.

1 منهجية مراقبة الطيف في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية

1.1 الوصف العام

يراقب الأسلوب الموضح الطيف الترددي على نحو يسمح بكشف ظروف التشغيل ومصادر التداخل المحتملة في موقع قياس معين. ويعتبر هذا الأسلوب أن مستوى استقبال إشارات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) على الأرض عادة ما يكون منخفضاً للغاية. لذلك، تجرى قياسات لكشف إشارات المستوى الأعلى التي يمكن أن تكون مستويات تداخل أو مستويات ضوضاء عالية. ولا يُنتج القياس طيفاً واحداً فحسب، بل يشير أيضاً إلى الاتجاه في السمت و(اختيارياً) ارتفاع البث المكتشف. وينتج عن ذلك مجموعة بيانات قياس كبيرة جداً. ومع ذلك، تُستخدم تقنيات لاختصار بيانات القياس بأرقام قليلة، مما يسمح بالتشخيص السريع لنتيجة المراقبة في حالة فحص العديد من القياسات.

ويعتمد هذا الأسلوب على استخدام هوائي اتجاهي. وفي بعض الحالات، يمكن استخدام هوائي شامل الاتجاهات ليتمم مجموعة معدات المراقبة ويقدم بيانات إضافية. ويتحكم حاسوب عادةً في نظام مستقبل القياس لاختصار الوقت اللازم لجمع البيانات. وأثناء عملية القياس، يستخدم الهوائي الاتجاهي لتقييم الطيف على امتداد عدة زوايا سمتية.

ويتكون هذا الأسلوب من الخطوات الرئيسية التالية:

- الحصول على معلومات عن محطات راديوية تقوم بالإرسال بالقرب من موقع القياس، عند توفرها؛
- إجراء القياسات وتسجيل الأطياف وحساب القيم المميزة؛
- رسم نتائج القياس في مخططات؛
- تقييم النتائج.

ويرد تفصيل هذه الخطوات في الأقسام التالية.

2.1 تحليل المعلومات عن محطات راديوية تقوم بالإرسال في الجوار القريب

احصل على معلومات عن محطات راديوية تقوم بالإرسال بالقرب من موقع القياس، إن أمكن. إذ يمكن أن يساعد تحليل هذه المعلومات فريق القياس على معرفة ما إذا يمكنهم توقع بث من اتجاه معين أم لا.

3.1 إجراء القياسات وتسجيل الأطياف وحساب القيم المميزة

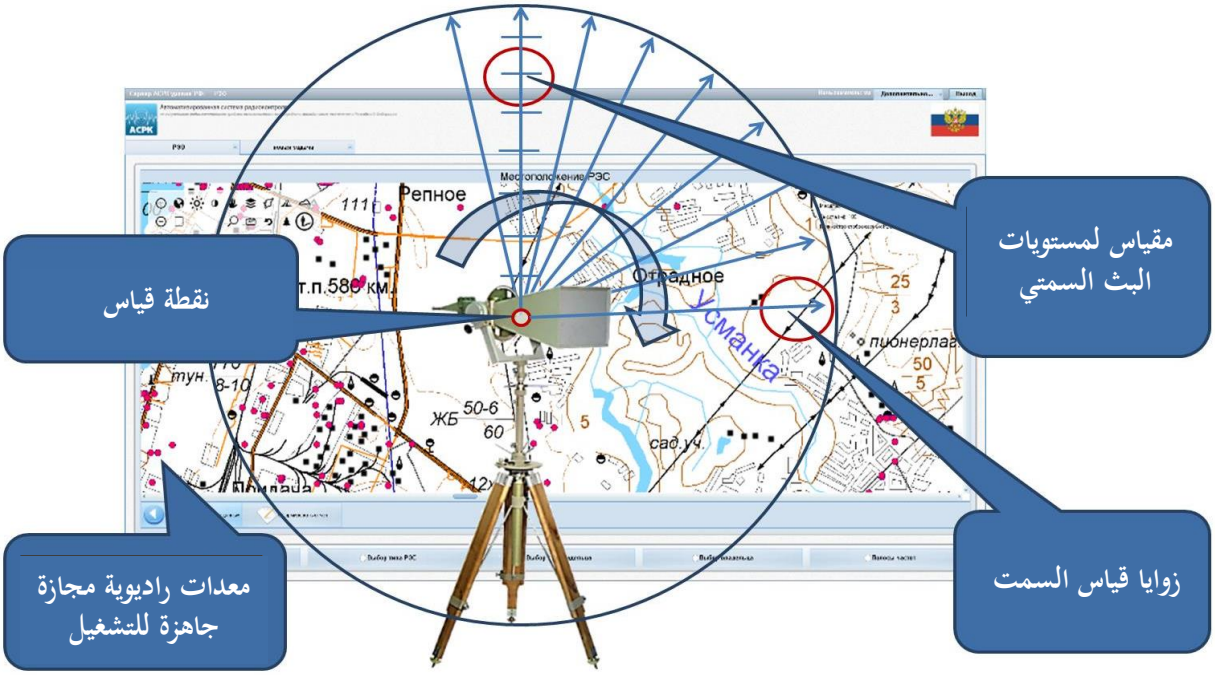
ينبغي أن تُجرى القياسات بهوائي اتجاهي مركب على النحو الموضح في الشكل 2. وبالإضافة إلى الهوائي الاتجاهي، يمكن استخدام هوائي شامل الاتجاهات للتحقق من نتائج القياس الطيفي عن طريق المقارنة.

وفي موقع القياس، يراقَب الطيف في نطاق التردد المختار من خلال تدوير الهوائي الاتجاهي دورة كاملة على خطوات (انظر الشكل 2). وفي كل خطوة، يجري تسجيل الطيف لمواصلة المعالجة. وتخزَّن إحداثيات موقع القياس، والطيف كما يظهر على الهوائي الاتجاهي، وزمن القياس، وزاويتا سمت وارتفاع الهوائي الاتجاهي.

وتعتمد الاستبانة الزاوِّية أثناء عملية المسح هذه على الاستبانة المكانية المرغوبة ضمن حدي عرض حزمة الهوائي. ويتمثل الخيار النمطي بحوالي 15 درجة.

الشكل 2

المسح المكاني بواسطة هوائي اتجاهي لقياس الأطياف ورسم مخططات للتوزع المكاني للبث



يمكن توثيق نتائج القياس على النحو الموضح في الجدول 1.

وبعد الانتهاء من جميع القياسات، يتميز كل طيف بثلاث معلمات (متوسط القدرة وذروة القدرة وقدرة الضوضاء) على النحو الموضح في الفقرات التالية.

الجدول 1

ظروف القياس والبيانات المقيسة

الرقم	ظروف القياس				البيانات المقيسة في نطاق التردد (هوائي اتجاهي)					
	إحداثيات موقع القياس	وقت القياس	نطاق تردد القياس	عرض نطاق الاستبانة (RBW)	السمت	الارتفاع	مستوى قدرة الطيف	قدرة مستوى الضوضاء	ذروة قدرة البث	متوسط قدرة البث
	خط الطول والعرض (بالدرجات) والارتفاع فوق مستوى سطح البحر (m)	الدقيقة والساعة واليوم والشهر والسنة	الأدنى/الأقصى (MHz)	Hz	بالدرجات	بالدرجات	مجموعة من القيم "التردد –مستوى القدرة"(ملف البيانات)	dBm	dBm	dBm
1										
2										
…										
k										

1.3.1 حساب قدرة الضوضاء

تُقاس قدرة الضوضاء في كامل نطاق التردد المراقَب على أساس الأساليب المحددة في التوصية ITU-R SM.1753 لكل من الأطياف المسجلة.

وللحساب، تُفرز عينات طيف القدرة بترتيب تصاعدي. وبعد ذلك، لا ينتقى إلا أول 20% من العينات التي تتجاوز الحد الأدنى لمستوى القدرة في هذا التسجيل، وتُستخدم لحساب متوسط قيمة مستوى الضوضاء:

$$P_n = 10log\left(\frac{1}{C}\sum_{i=1}^{C} 10^{\frac{P_i}{10}}\right) \quad (1)$$

حيث:

P_n: متوسط مستوى القدرة الضوضاء، بوحدة dBm

C: عدد العناصر في أول 20 % من العينات

P_i: قيمة العينة ذات الترتيب i، بوحدة dBm

2.3.1 حساب ذروة القدرة

تُحسب ذروة القدرة في كامل نطاق التردد المراقَب لكل طيف مسجل بأخذ القيمة القصوى لعينات طيف القدرة أو باستخدام وظائف دلالية مناسبة لمحلل/مستقبل الطيف:

$$P_{peak} = MAX(P_i),\ i=1,\ldots,N \quad (2)$$

حيث:

P_{peak}: ذروة قدرة البث، بوحدة dBm

P_i: قيمة العينة ذات الترتيب i، بوحدة dBm

N: العدد الإجمالي للعينات المسجلة.

3.3.1 حساب متوسط القدرة

يُحسب متوسط القدرة في كامل نطاق التردد المراقَب لكل طيف مسجل بحساب متوسط جميع عينات طيف القدرة:

$$P_{mean} = 10log\left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} 10^{\frac{P_i}{10}}\right) \quad (3)$$

حيث:

P_{mean}: متوسط قدرة البث في نطاق التردد، بوحدة dBm

N: عدد عينات الطيف

P_i: قدرة عينة الطيف المقيسة ذات الترتيب i، بوحدة dBm

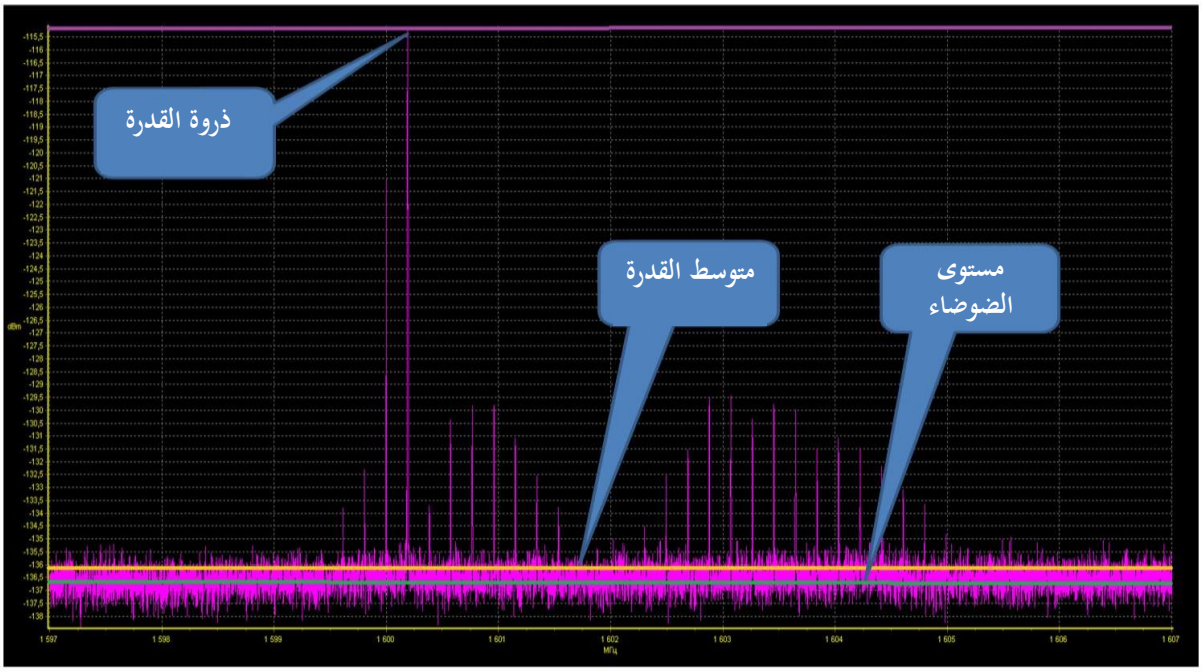
ويوضح الشكل 3 الخصائص المتكاملة المحسوبة للبث الإجمالي في نطاق التردد المراقَب على أساس مجموعة من عينات قدرة الطيف.

4.1 رسم مخططات التوزع المكاني للبث وزوايا ورود قدرة الطيف

يُرسم، لكل طيف مسجل، مخطط يوضح الأطياف المسجلة مع مستويات الضوضاء والذروة والمتوسط للقدرة المحسوبة على النحو الموضح أعلاه والمبين في الشكل 3.

الشكل 3

الخصائص المتكاملة المحسوبة للبث الإجمالي في نطاق التردد المراقَب

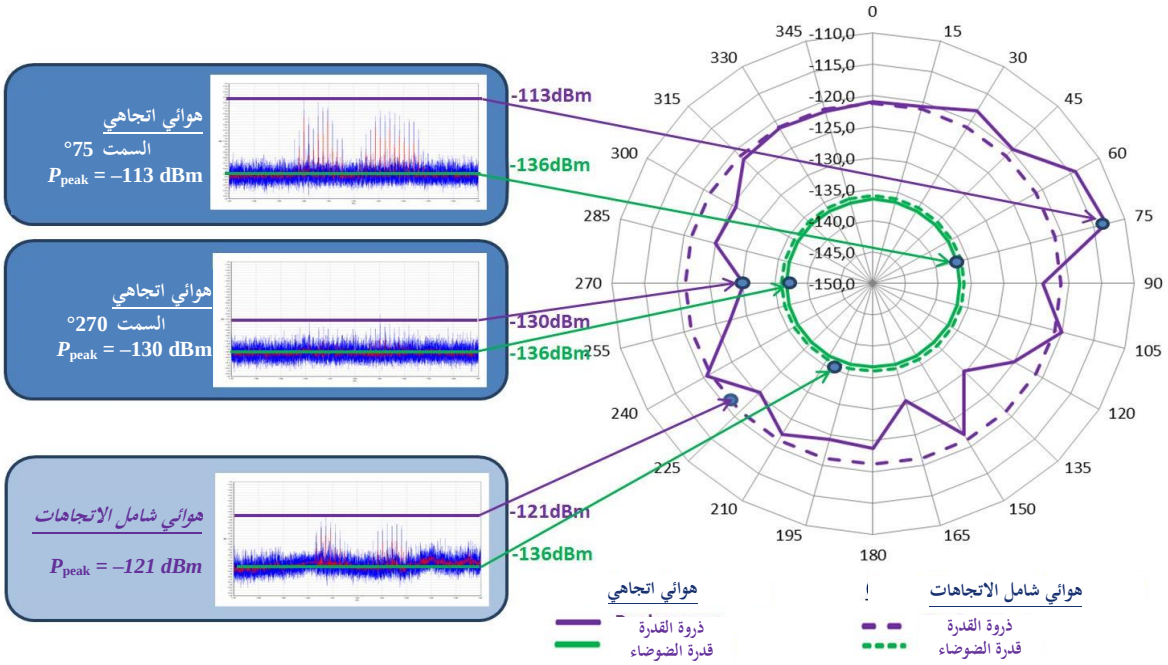


وباستخدام مجمل القيم الثلاث على النحو الموضح في الفقرات من 1.3.1 إلى 3.3.1 من الهوائي الاتجاهي والإضافي شامل الاتجاهات، أنشئ مخطط دائري لتمثيل نتيجة مسح السمت. ويمثل مركز المخطط موقع القياس. ويظهر مثال على ذلك في الشكل 4.

ويظهر في الفقرة 3 مخطط أكثر تخصصاً لتمثيل كنس نصف الكرة الأرضية بهوائي اتجاهي. وهذا يسمح بتحليل الإشارات من مصادر الأرض والفضاء.

الشكل 4

إنشاء مخطط سمتي قائم على تسجيلات الطيف في نقطة قياس واحدة



5.1 تقييم النتيجة

يمكن استخدام القيم والمخططات المحصَّلة من القياسات للتحقق من وجود البث غير المطلوب. ويمكن أن يقدم مسح السمت أيضاً اتجاهاً نحو ذلك البث.

ويمكن تحديد البث غير المطلوب أو المسبب للتداخل بشكل خاص بتحديد قيم عتبة مناسبة فيما يتعلق بقيم الذروة أو الارتفاع غير المتوقع في قدرة الضوضاء.

ويمكن تقييس الاختلافات بين ذروة القدرة ومتوسط القدرة وقدرة الضوضاء لتسهيل المقارنة بين الإشارات وتصنيفها. ويمكن لذلك أن تساعد في اكتشاف إشارة تداخل محتملة.

2 متطلبات معدات المراقبة

1.2 المتطلبات العامة

ينبغي أن يغطي مدى التشغيل الترددي لمعدات القياس نطاق التردد المناسب لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS). ويوضح الجدول 2 التوزيعات الترددية لخدمات الملاحة الراديوية الساتلية – GLONASS (L1, L2, L3)، GPS (L1, L2, L5)، Galileo (E1, E5, E6)، BeiDou (B1, B2, B3).

الجدول 2

نطاقات التردد الموزَّعة لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية

الرقم	نطاق التردد (MHz)
L1، E1، B1	1 610-1 559
L2، E6، B3	1 300-1 215
L3، L5، E5، B2	1 215-1 164

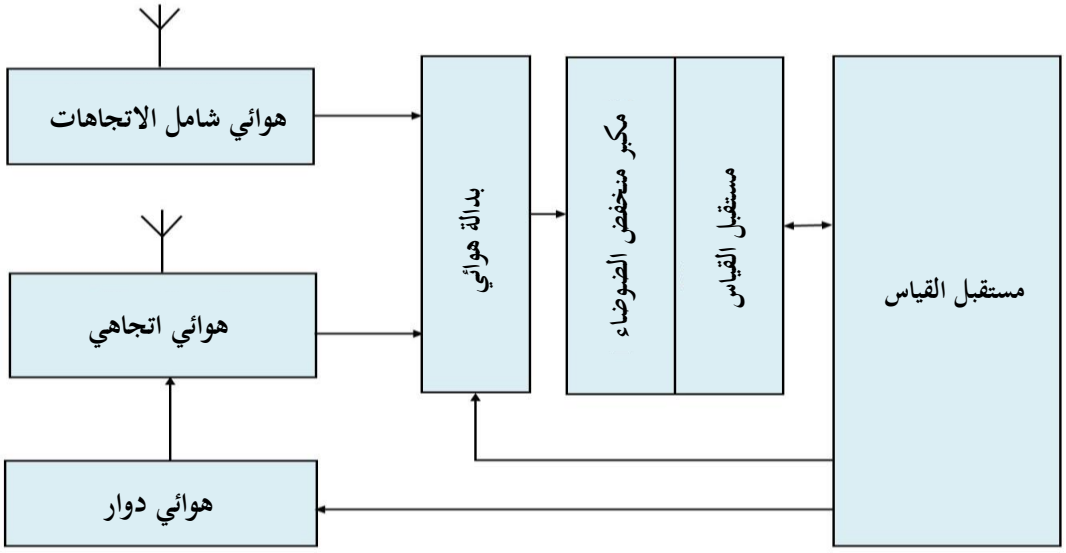
تتألف معدات المراقبة من العناصر التالية:

- هوائي قياس اتجاهي مثبت على حامل ثلاثي القوائم ذي طاولة دوارة؛
- هوائي شامل الاتجاهات (اختياري)؛
- بدالة هوائي؛
- مكبر منخفض الضوضاء (اختياري)؛
- مرشاح تمرير نطاق (اختياري)؛
- مستقبِل القياس أو محلل الطيف؛
- مستقبِل الملاحة لتسجيل إحداثيات القياس؛
- حاسوب بسطح بيني للتحكم عن بعد.

ويبين الشكل 5 مخطط صندوقي للمعدات.

الشكل 5

مخطط صندوقي لمعدات القياس



يمكن الحصول على المعلومات المتعلقة بمستويات التداخل المسموح بها من التوصيات ITU-R M.1902 وITU-R M.1093 وITU-R M.1905. وهذا يؤدي إلى التالي:

- حساسية المستقبِل في عرض نطاق 1 kHz ينبغي أن تكون –115… –119 dBm؛
- ضوضاء المستقبِل في عرض نطاق 1 Hz (DANL) ينبغي أن تكون –155… –160 dBm.

2.2 متطلبات معدات القياس

تعتمد متطلبات المعدات على تجربة الاستخدام في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) والمتطلبات المحددة في التوصية ITU-R SM.1753. وقد استُخدمت محللات الطيف في الوقت الفعلي لأنها تسمح، على عكس المحللات الكانسة، بكشف الأحداث النبضية قصيرة الأمد وعرضها وتسجيلها.

وتُستخدم أنواع الهوائي التالية:

- الاتجاهي: هوائي بوقي أو هوائي مكافئي لمسح السمت، إذا كانت مصادر الأرض تسترعي الاهتمام؛
- الاتجاهي: هوائي مكافئي لمسح السمت والارتفاع، إذا كانت الإشارات الصادرة من مصادر الأثير والفضاء تسترعي الاهتمام؛
- شامل الاتجاهات: هوائي ثنائي الأقطاب أو هوائي ثنائي المخاريط لإجراء مسح عام (معدات مساعدة).

وإن أمكن، ينبغي أن يطابق استقطاب هوائيات القياس استقطاب نظام خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) المحمي. وإذا استُخدمت هوائيات مكافئية ذات مغذيات، يغيَّر اتجاه الاستقطاب بسبب العاكس: وعادةً، يكون الاستقطاب في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) دائرياً أيمن (RHCP). ويغيَّر هذا الاستقطاب إلى الاستقطاب الدائري الأيسر (LHCP)، عند توجيه الموجة من العاكس إلى الطبق.

3 مثال عملي على المراقبة في نطاقات خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS)

يوضح هذا المثال المراقبة في موقع قياس معين عبر مدى التردد 597 1-607 1 MHz. وهو يوضح إعدادات القياس وإجراءات تسجيل بيانات القياس وتقييمها، بما في ذلك رسم وتفسير المخططات الناتجة. أما النظام الذي يسترعي الاهتمام في خدمة الملاحة الراديوية الساتلية (RNSS) فهو نظام GLONASS.

1.3 أجهزة القياس لمراقبة نطاق التردد لنظام GLONASS

استُخدمت مجموعة المعدات التالية للقياسات:

1 محلل الطيف:

- نطاق التردد 597 1-607 1 MHz لنظام GLONASS L1؛
- عرض نطاق الاستبانة (RBW) – 1 kHz؛
- نوع الكاشف – حساب المتوسط؛
- عدد متوسطات الطيف – 100؛

2 هوائي بوقي للقياس:
- الاستقطاب – خطي عمودي؛
- ارتفاع الهوائي – 2,85 m؛
- زاوية الارتفاع – 0°؛
- سمت الهوائي من – 0° إلى 360° بخطوات زاوية كل منها 15°

3 هوائي مكافئي للقياس، القطر – 2 m.

4 هوائي شامل الاتجاهات للمقارنة:
- الاستقطاب – خطي عمودي؛
- ارتفاع الهوائي – 2,85 m.

2.3 نقطة القياس

كانت نقطة القياس المحددة في مدينة ذات مباني منخفضة ومتوسطة الارتفاع.

3.3 تحليل التخصيصات الترددية

وفقاً لخطة الترددات وقاعدة بيانات التخصيصات الترددية، لم يُتوقع إرسال للأرض من مرسلات نشطة في نطاقات التردد لخدمة الملاحة الراديوية الساتلية.

4.3 إجراء القياسات وتسجيل الأطياف وحساب القيم المميزة

جرى تحليل الطيف، في موقع القياس، بمسح للسمت باستخدام هوائي بوقي ("مسح السمت"). بالإضافة إلى ذلك، أجريت قياسات باستخدام هوائي شامل الاتجاهات. وأخيراً، أجري مسح لنصف الكرة الأرضية باستخدام هوائي مكافئي ("مسح الارتفاع"). وبعد ذلك، حُسبت القيم المميزة (انظر الفقرات من 1.3.1 إلى 3.3.1). وكان مدى التردد المراقَب هو نطاق نظام GLONASS L1 (597 1 607 MHz).

1.4.3 القيم المسجلة في مستوي السمت

يرد عرض نتائج مسح السمت في الجدول 3 ويرد تلخيصها كذلك في الجدول 4. وترد نتائج الهوائي شامل الاتجاهات في الجدول 5. وقد دُمجت بيانات كلا الجدولين في الشكل 4.

الجدول 3

خصائص الأطياف المرصودة باستخدام هوائي اتجاهي

السمت (بالدرجات)	ذروة قدرة البث (dBm)	متوسط قدرة البث (dBm)	قدرة الضوضاء (dBm)
0	121,0–	136,1–	136,5–
15	120,7–	136,0–	136,6–
30	118,1–	136,1–	136,6–
45	119,7–	135,8–	136,6–
60	114,2–	136,1–	136,6–
75	113,0–	136,2–	136,7–
90	124,0–	136,3–	136,7–
105	120,0–	136,1–	136,7–
120	125,1–	136,2–	136,7–
135	130,2–	136,2–	−136,7
150	115,0–	136,2–	136,7–
165	130,6–	136,2–	136,7–
180	123,7–	136,1–	136,7–
195	124,3–	136,2–	136,7–
210	122,2–	136,3–	136,7–
225	125,4–	136,6–	136,7–
240	120,5–	136,6–	136,7–
255	127,3–	136,6–	136,7–
270	130,2–	136,6–	136,7–
285	125,0–	136,5–	136,7–
300	125,7–	136,3–	136,7–
315	121,9–	136,0–	136,6–
330	121,4–	135,9–	136,6–
345	121,6–	136,2–	136,7–

الجدول 4

قيم القدرة القصوى والدنيا والمتوسطة المحصَّلة أثناء القياسات

نوع القدرة	ذروة قدرة البث (dBm)	متوسط قدرة البث (dBm)	قدرة الضوضاء (dBm)
القيمة المتوسطة	120,1–	136,2–	136,7–
القيمة القصوى	113,0–	135,8–	136,5–
القيمة الدنيا	130,6–	136,6–	136,7–

الجدول 5

خصائص الأطياف المرصودة باستخدام هوائي شامل الاتجاهات

المعلمة	القيمة المقيسة (dBm)
ذروة قدرة إشارة في النطاق	118,7–
متوسط القدرة في النطاق	130,5–
قدرة الضوضاء	134,4–
قدرة ضوضاء المستقبِل	136,4–

2.4.3 القيم المسجلة في مسح الارتفاع/نصف الكرة الأرضية

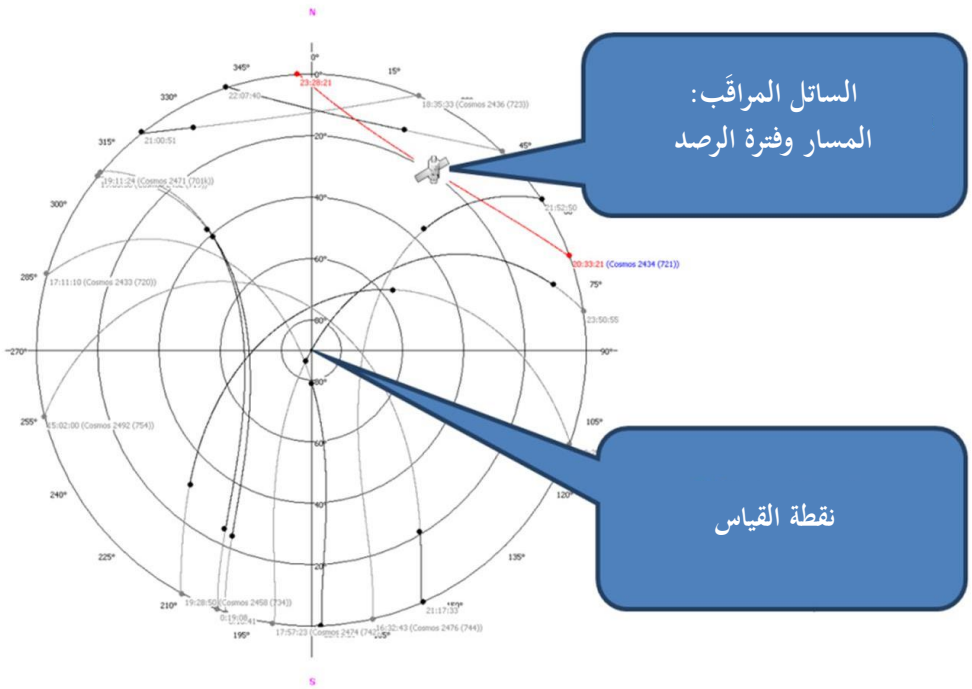
كانت نتائج القياس من الهوائي المكافئي مناسبة تماماً لتحليل الإشارات الصادرة عن مصادر بث الأرض والطيران والفضاء. أما إذا أريدَ تحليل نصف الكرة بأكمله، فإن الحاجة تدعو إلى المزيد من التسجيلات وزوايا الهوائي.

وأثناء عملية القياس، جرى تتبع الساتل GLONASS Cosmos-2434 (721) باستخدام بيانات مساره خلال فترة الرؤية الراديوية، ويظهر مسار الساتل الناتج باللون الأحمر في الشكل 6. وتلوَّن جميع سواتل GLONASS الأخرى باللون الأسود. وتمثل النقاط مكان ظهور السواتل في مجال الرؤية وخروجها منه في موقع القياس.

بالإضافة إلى ذلك، يعرض الشكل 6 مسارات جميع سواتل GLONASS الواقعة ضمن الرؤية الراديوية أثناء القياسات، باستخدام نظام إحداثيات السمت/الارتفاع المتمركز في موقع القياس. وتمثل النقاط السوداء بداية ونهاية الرؤية الراديوية الساتلية أثناء وقت القياس.

الشكل 6

مسارات سواتل GLONASS أثناء القياسات



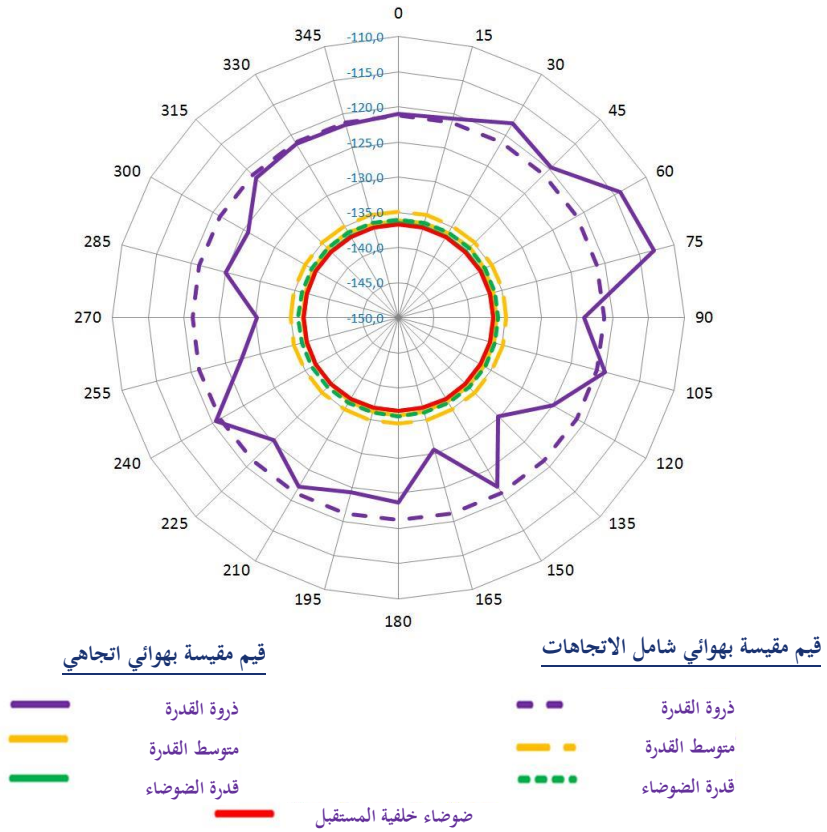
5.3 رسم المخططات وتحليل النتيجة

1.5.3 تفسير المخططات والنتيجة المتأتية من مسح السمت

يدمج الشكل 7 بيانات الجدول 3 والجدول 4 في مخطط واحد.

الشكل 7

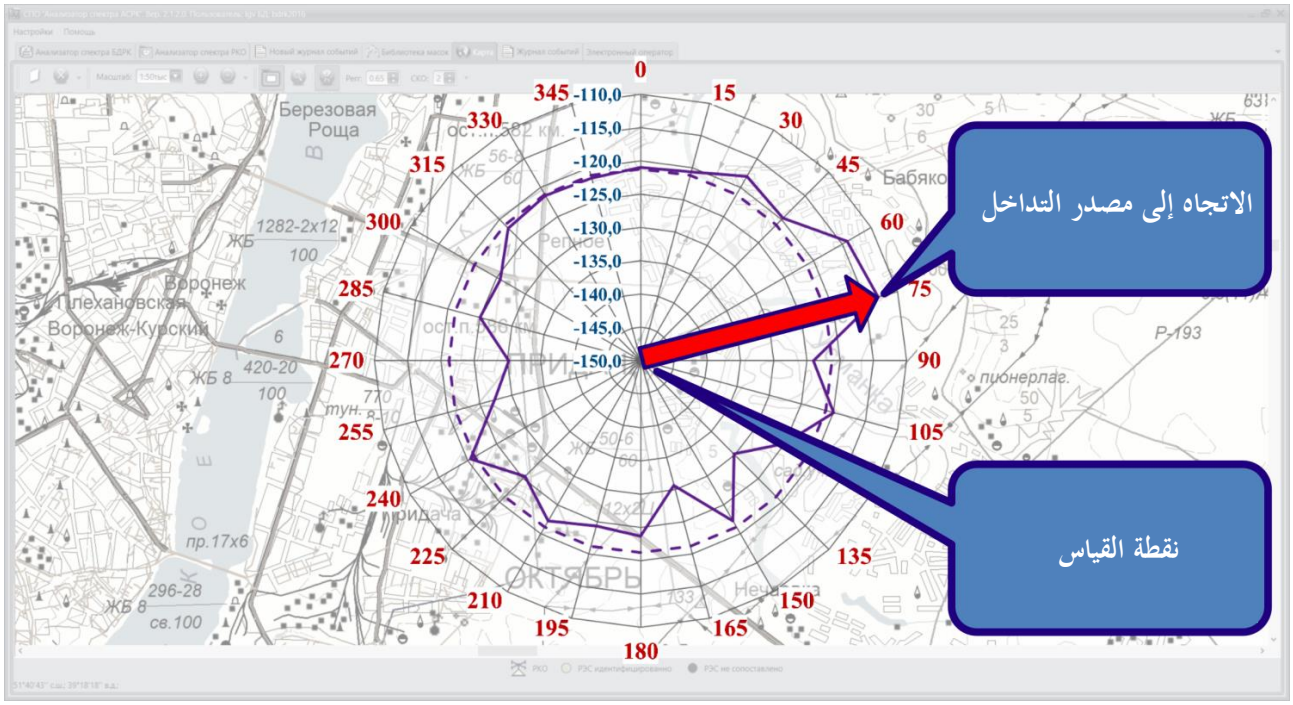
مخطط مدمج لنتائج مسح السمت



يوضح الشكل ذروة مميزة في الاتجاه بين 60 درجة و75 درجة. ويوضح الشكل 8 المخطط المتراكب على خريطة رقمية تبين بوضوح وجود مصادر البث والتداخل واتجاهاتها. وتتحدد الاتجاهات إلى مصادر البث والتداخل بالقيم القصوى في البيانات.

الشكل 8

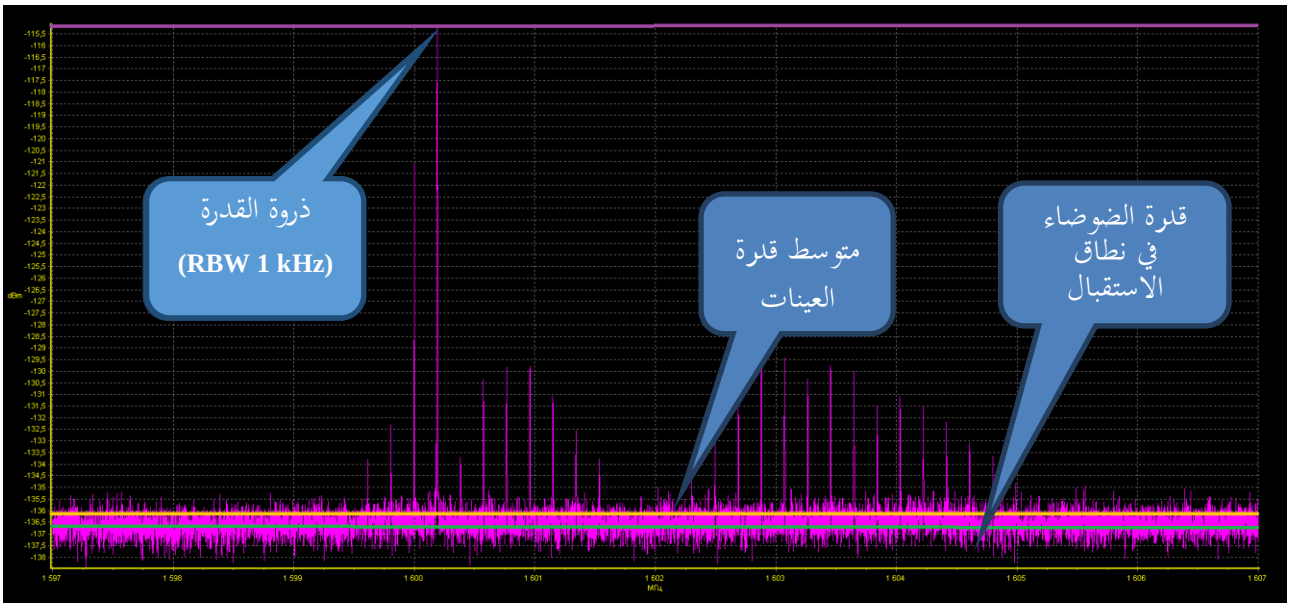
النتائج على الخريطة الرقمية تشير إلى اتجاه مصدر التداخل المحتمل



نظراً لعدم توقع إرسال نشط في الاتجاه بين 60 درجة و75 درجة، يُفحص تسجيل الطيف هذا بمزيد من التفاصيل. ويوضح الشكل 9 طيف نطاق التردد L1 في موقع القياس باتجاه مستوى الذروة. ويبلغ مستوى الذروة حوالي 17 dB فوق المستوى المتوسط.

الشكل 9

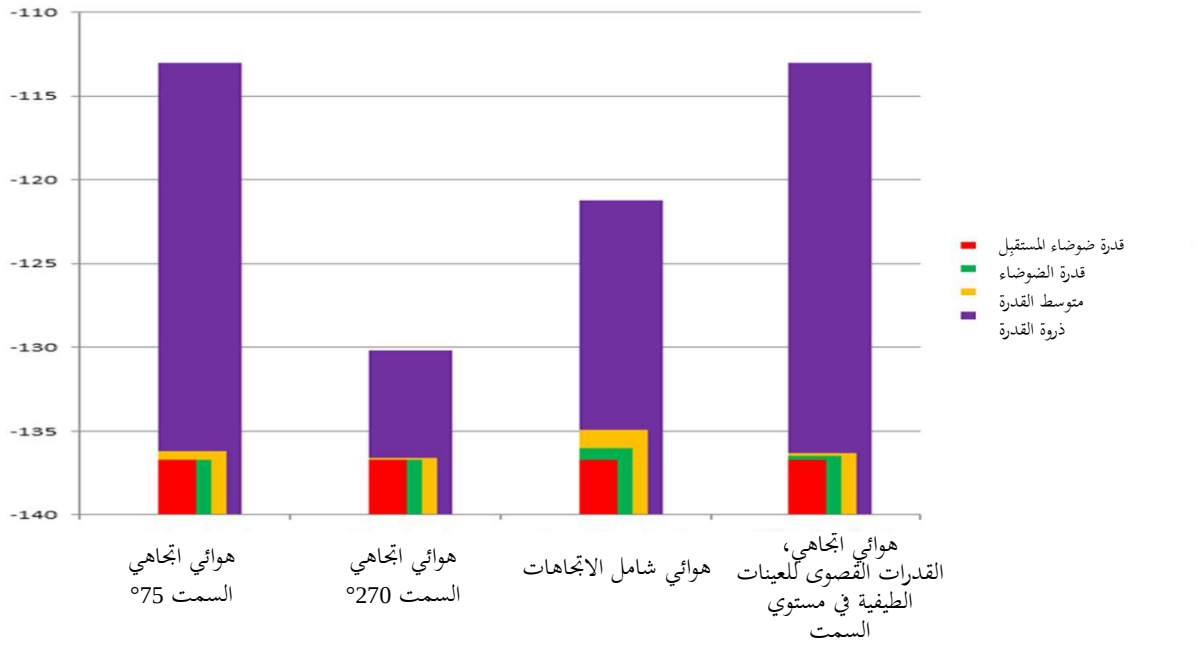
طيف نطاق التردد GLONASS L1 (هوائي اتجاهي، زاوية السمت 75 درجة)



ويبين الشكل 9 نتائج القياسات الطيفية لهوائي اتجاهي وغير اتجاهي.

الشكل 10

ملخص مستويات الاستقبال المميزة في نطاق التردد GLONASS L1

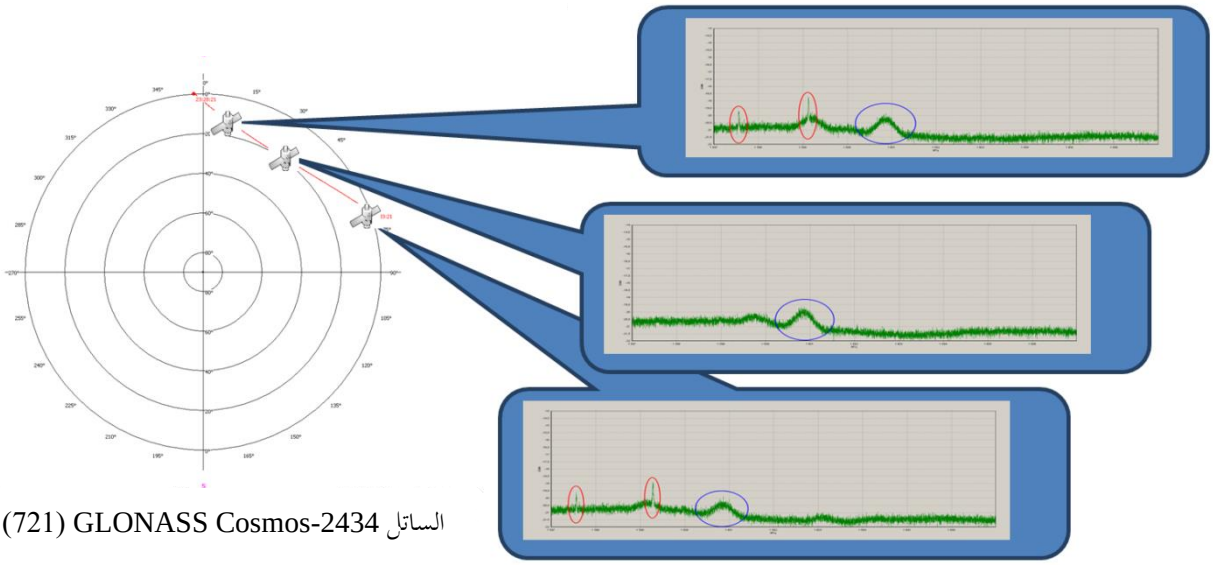


2.5.3 تفسير المخططات والنتيجة المتأتية من مسح نصف الكرة الأرضية

يبين الشكل 11 الأطياف في نطاق التردد من 1 597 إلى 1 607 MHz (GLONASS L1) في ثلاث زوايا سمت إلى الساتل GLONASS. وتميَّز الإشارة من الساتل GLONASS المراقَب في الأطياف المرسومة بدائرة زرقاء. ويوضح الشكل 11 أيضاً أطياف إرسالات التداخل (المميزة بدوائر حمراء) المستقبَلة على زوايا ارتفاع صغيرة.

الشكل 11

الأطياف في نطاق التردد 597 1-607 1 MHz (GLONASS L1)
في ثلاث زوايا سمت إلى الساتل GLONASS



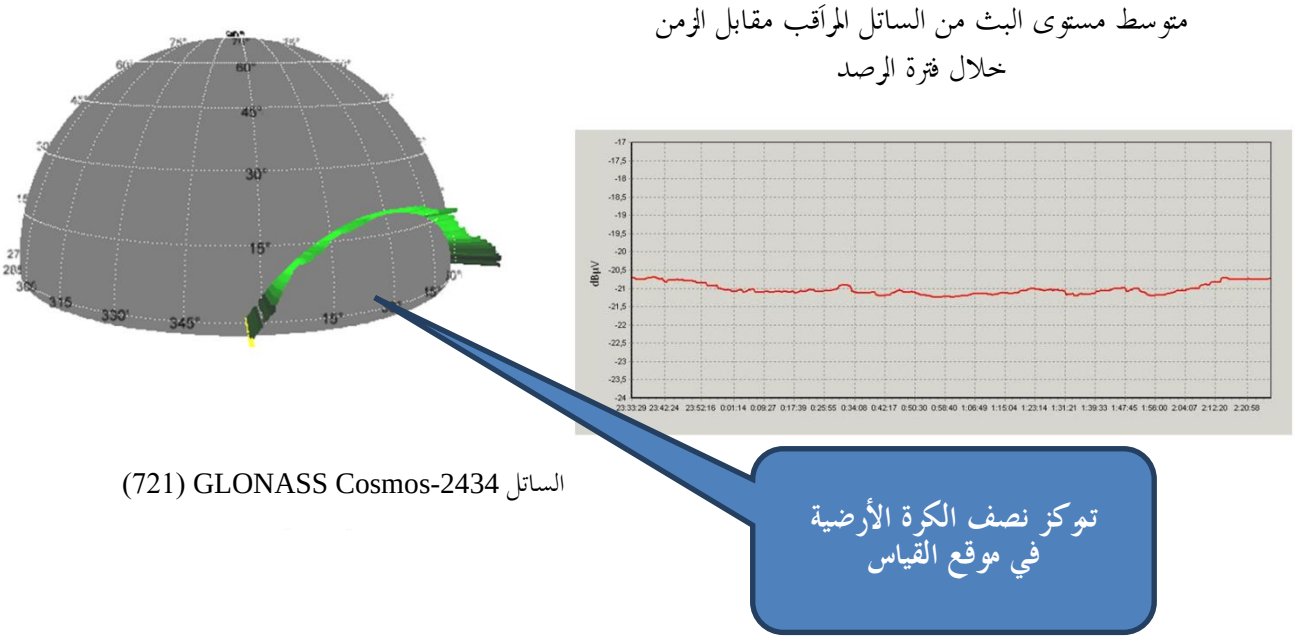
الساتل GLONASS Cosmos-2434 (721)

يمثل الشكل 12 دمج القيم المتوسطة المسجلة في اتجاه الساتل المراقَب في نظامي إحداثيات:

- مخطط ثلاثي الأبعاد لنصف الكرة الأرضية بإحداثيات "السمت/الارتفاع/مستوى البث". وتظهر مستويات البث باللون الأخضر. ويتمركز نصف الكرة عند نقطة القياس؛
- مخطط ثنائي الأبعاد بإحداثيات "مستوى البث في النطاق مقابل الوقت أثناء فترة الرصد"، حيث تقابل كل قيمة زمنية زاوية السمت وزاوية الارتفاع المحددتين نحو الساتل المراقَب.

الشكل 12

دمج القيم المتوسطة للبث في نطاق التردد 597 1-607 1 MHz (GLONASS L1)



الساتل GLONASS Cosmos-2434 (721)

تشير المستويات المتزايدة في المخططات أعلاه إلى مصادر التداخل المحتملة، ربما بسبب زيادة مستوى ضوضاء الخلفية عند توجيه الهوائي المكافئي نحو الأفق.

ويُظهر الشكل 13 مخططاً ثلاثي الأبعاد للمستويات المتوسطة في نطاق التردد 597 1-607 1 MHz المقيسة باستخدام الهوائي المكافئي. وتُعرض النتائج بطريقتين:

- مخطط نصف كروي ثلاثي الأبعاد بإحداثيات "السمت/الارتفاع/مستوى البث"؛ ويشير طول الأسهم الخضراء إلى مستوى القدرة الذي يقيسه محلل الطيف. ويتمركز نصف الكرة في موقع القياس.
- مخطط ثلاثي الأبعاد في مستوي "السمت/الارتفاع/مستوى البث"، حيث تُرسم الإحداثيات الكروية وفق ما يقابلها على سطح مستو؛ وتُرسم المستويات وفق ما يقابلها على مقياس للألوان (فيشير اللون شديد الاحمرار إلى قيم البث القصوى، بينما يشير اللون قليل الاخضرار إلى القيم الدنيا).

وتوضح مخططات مستويات البث المتوسطة في نطاق التردد المعطى مستويات بث عالية وردت من المجال الجوي أو الفضاء الخارجي ببعض زوايا السمت وزوايا الارتفاع خلال فترة القياس.

الشكل 13

مستويات الاستقبال القصوى في نطاق التردد L1 المقيسة على نصف الكرة كله