

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التقرير ITU-R SM.2028-2
(2017/06)

عرض منهجية مونت كارلو للمحاكاة
لاستعمالها في دراسات التشارك والتوافق بين
الخدمات أو الأنظمة الراديوية المختلفة

السلسلة SM
إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات



تمهيد

يضع 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 مدى 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 <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>)

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 الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تشارك الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM

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.2028-2

عرض منهجية مونت كارلو للمحاكاة لاستعمالها في دراسات التشارك والتوافق بين الخدمات أو الأنظمة الراديوية المختلفة

(2017-2002-2001)

المحتويات

الصفحة

3	خلفية	1
4	منهجية محاكاة مونت كارلو: نظرة عامة	2
4	1.2 مثال توضيحي (البث غير المطلوب فقط، أكثر مسببات التداخل تأثيراً)	3
7	متطلبات المعمارية	3
7	1.3 محرك إنشاء الأحداث	3
8	2.3 حسابات التداخل	3
9	الملحق 1 – قائمة مَعلمات الدخل	3
12	الملحق 2 – محرك إنشاء الأحداث	3
22	المرفق 1 بالملحق 2 – نموذج الانتشار	3
23	1 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.452	3
24	2 الخسارة على خط البصر الطلق	3
25	3 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.528 لخدمات الطيران والخدمات الساتلية	3
25	4 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.1411	3
26	5 نموذج الانتشار الموجات المترية (VHF)/الموجات الديسيمترية (UHF) (التوصية ITU-R P.1546)	3
27	6 نموذج هاتا (Hata) الموسع	3
27	1.6 حساب خسارة المسير المتوسطة L	3
29	2.6 تقييم الانحراف المعياري للتوزع اللوغاريتمي العادي	3
29	7 نموذج الانعراج الكروي	3
32	8 نماذج انتشار داخل المباني وفي الخلاء معاً	3
34	9 نموذج الانتشار لدى الفريق التقني المشترك 5-6 (JTG 5-6)	3

* أدخلت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية في عام 2018 تعديلات صياغية على هذه المسألة طبقاً للقرار ITU-R 1.

35	.....Longley Rice (ITM) نموذج انتشار	10
36	..... IEEE 802.11 المعيار C من الانتشار	11
37	..... دالة التحكم في القدرة	المرفق 2 بالملحق 2
38	..... تعاريف التوزيع	المرفق 3 بالملحق 2
39	..... إنشاء الأعداد شبه العشوائية	المرفق 4 بالملحق 2
41	..... $(dRSS)$ مستقبلة المطلوبة	المرفق 5 بالملحق 2
	المرفق 6 بالملحق 2 - حساب شدة الإشارة المستقبلة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب ($iRSS$) جراء البث غير المطلوب والحجب	
42	.....
43	..... حجب المستقبل	المرفق 7 بالملحق 2
43	..... المفهوم الأساسي	1
43	..... قياسات مستوى الحجب	2
44	..... توهين المستقبل	3
45	..... شدة الإشارة المستقبلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب ($iRSS$) جراء التشكيل البيئي ...	المرفق 8 بالملحق 2
46	..... التشكيل البيئي في المستقبل	المرفق 9 بالملحق 2
47	..... تأثير عروض النطاق المختلفة	المرفق 10 بالملحق 2
51	..... مقاس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء	المرفق 11 بالملحق 2
52	..... مخطط إشعاع الهوائي	المرفق 12 بالملحق 2
53	.....	المراجع
54	.....	بيبلوغرافيا
54	..... محرك تقييم التوزيع	الملحق 3
56	..... اختبار مربع كاي لحسن الملاءمة	المرفق 1 بالملحق 3
58	..... اختبار Kolmogorov-Smirnov للاستقرار	المرفق 2 بالملحق 3
58	..... محرك حساب التداخل	الملحق 4

ملخص

ترد في هذا التقرير معلومات أساسية عن منهجية مونت كارلو للمحاكاة الراديوية. وعدا عن تقديم معلومات عامة، يشكل هذا النص أيضاً توصيفاً لبرمجيات أداة تحليل مونت كارلو المتقدم لهندسة الطيف (SEAMCAT) التي تنفذ منهجية مونت كارلو المطبقة على سيناريوهات الاتصالات الراديوية.

اعتبارات عامة

تعالج في العمق مشكلة البث غير المطلوب، كعامل خطير يؤثر على كفاءة استخدام الطيف الراديوي، في مختلف المنتديات، الداخلية والخارجية لدى المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT). ولوحظت الحاجة إلى إعادة تقييم حدود البث غير المطلوب في التذييل 3 للوائح الراديو (RR)، ومن المسلم به على نطاق واسع أن الأسلوب العام هو الأفضل لهذا الغرض.

ويكمن أحد الأسباب العديدة لتفضيل الأساليب العامة في قدرتها المسبقة على معالجة أنظمة وتكنولوجيات الاتصالات الجديدة عند ظهورها. ويتمثل سبب آخر في أن الأسلوب العام وحده يمكن أن يطمح إلى أن يصبح أساساً لأداة تحليل معترف بها على نطاق واسع.

ويجري تطوير أداة مونت كارلو للمحاكاة الراديوية الموصوفة في هذا التقرير، بناءً على الاعتبارات المذكورة أعلاه، ضمن لجنة الاتصالات الإلكترونية (ECC) التابعة للمؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT).

SEAMCAT

تنفذ أداة تحليل مونت كارلو المتقدم لهندسة الطيف (SEAMCAT) نموذج مونت كارلو للمحاكاة الراديوية الذي طورته مجموعة إدارات المؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات (CEPT) وأعضاء المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) والهيئات العلمية الدولية. وأداة SEAMCAT هي أداة برمجيات مفتوحة المصدر يوزعها مكتب الاتصالات الأوروبي (ECO)¹ التابع للمؤتمر الأوروبي لإدارات البريد والاتصالات، ومقره في كوبنهاغن.

1 خلفية

لإعادة تقييم حدود البث غير المطلوب في التذييل 3 للوائح الراديو، اقتضت الضرورة تطوير أداة تحليلية لتمكين تقييم مستوى التداخل الذي ستعرض له المستقبلات ذات الصلة التمثيلية. وأُتفق في قطاع الاتصالات الراديوية على أن مستوى التداخل ينبغي التعبير عنه بدلالة احتمال تضرر قدرة الاستقبال في المستقبل قيد النظر بسبب وجود مسبب للتداخل. ولتقييم احتمال التداخل، تُتطلب نمذجة إحصائية لسيناريوهات التداخل ويصف هذا التقرير المنهجية في هذا الصدد ويقدم مقترحاً بشأن معمارية الأداة.

وتُعرف المنهجية الإحصائية الموضحة هنا والمستخدمه لتطوير الأداة أكثر ما تُعرف باسم أسلوب مونت كارلو. وكان فون نيومان وأولام² قد اعتمدا مصطلح "مونت كارلو" خلال الحرب العالمية الثانية، كاسم رمزي للعمل السري على حل المشاكل الإحصائية المتعلقة بتصميم القنبلة الذرية. ومنذ ذلك الوقت، استُخدم أسلوب مونت كارلو لمحاكاة العمليات العشوائية وهو يستند إلى مبدأ أخذ عينات المتغيرات العشوائية من دوال كثافة الاحتمالات المحددة لها. ويمكن اعتبار هذا الأسلوب من أقوى التقنيات وأكثرها استخداماً لتحليل المشكلات الإحصائية المعقدة.

والنهج:

- عام: إذ يمكن لنموذج واحد التعامل مع مجموعة متنوعة من سيناريوهات التداخل الممكنة؛
- ومرن: النهج مرن للغاية، ويمكن إعداده بسهولة كي يعالج سيناريوهات تداخل مركبة.

¹ مكتب الاتصالات الأوروبي (ECO): www.cept.org/eco، eco@eco.cept.org.

² <http://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00326866.pdf>

2 منهجية محاكاة مونت كارلو: نظرة عامة

إن هذه المنهجية مناسبة لمعالجة البنود التالية في هندسة الطيف:

- دراسات التشارك والتوافق بين الأنظمة الراديوية المختلفة العاملة في النطاقات الترددية نفسها أو المجاورة، على التوالي؛
 - تقييم أقمعة المرسل والمستقبل؛
 - تقييم حدود مَعلمات مثل مستويات الحجب أو التشكيل البيني غير المطلوب (الهامشي وخارج النطاق).
- ويمكن لأسلوب مونت كارلو معالجة جميع سيناريوهات التداخل الراديوي تقريباً. وتتحقق هذه المرونة من خلال الطريقة التي تعرّف بها مَعلمات النظام. ويمكن إدخال العديد من المَعلمات المتغيرة (مثل القدرة المشعة والعلو والموقع والسمت وارتفاع هوائي المرسل والمستقبل) بالنظر في دالة التوزع الإحصائي الخاصة بها. لذلك تمكن نمذجة المواقف المعقدة للغاية بدوال أولية بسيطة نسبياً. ويمكن معالجة عدد من الأنظمة المتنوعة، مثل:
- الإذاعية (للأرض والساتلية)؛
 - المتنقلة (للأرض والساتلية)؛
 - من نقطة إلى نقطة؛
 - من نقطة إلى عدة نقاط، وما إلى ذلك.

ويرد أفضل شرح لهذا المبدأ بالمثل التالي الذي يمحصر آلية التداخل في البث غير المطلوب. وبوجه عام، يتيح أسلوب مونت كارلو معالجة المؤثرات الأخرى الموجودة في البيئة الراديوية مثل البث خارج النطاق وحجب المستقبل والتشكيل البيني.

وفيما يلي بعض الأمثلة على تطبيقات هذه المنهجية:

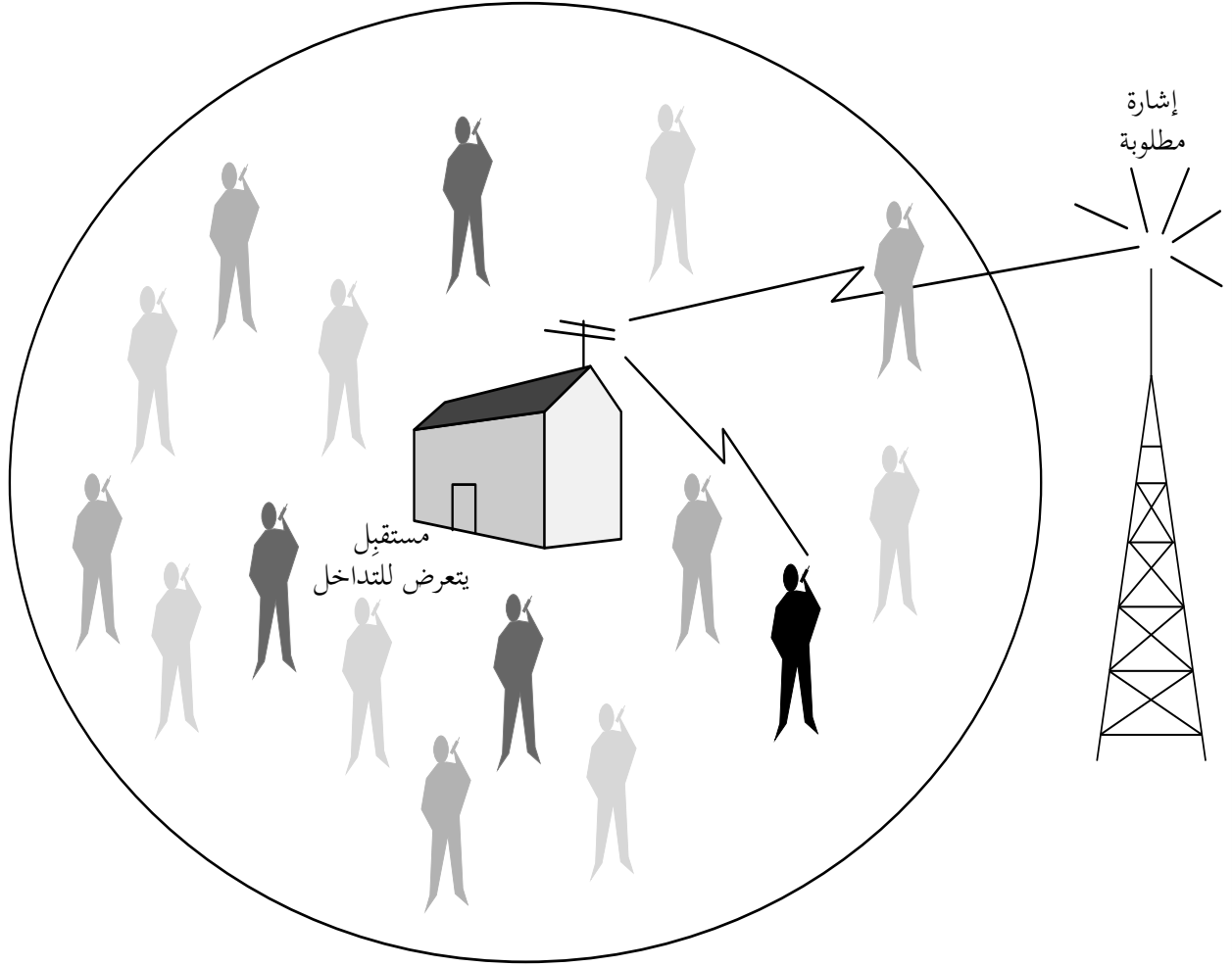
- دراسة التوافق بين الاتصالات الراديوية الرقمية المتنقلة الشخصية (PMR) (TETRA) و GSM في النطاق 915 MHz؛
- دراسات التشارك بين الخدمة الثابتة والخدمة الثابتة الساتلية؛
- دراسات التشارك بين الأجهزة قصيرة المدى (Bluetooth) والشبكات المحلية الراديوية (RLAN) في النطاق الصناعي والعلمي والطبي (ISM) 2,4 GHz؛
- دراسة التوافق للاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT 2000) و PCS1900 حول 1,9 GHz؛
- دراسة التوافق للأنظمة ذات النطاق فائق الاتساع والأنظمة الراديوية الأخرى العاملة في هذه النطاقات الترددية.

1.2 مثال توضيحي (البث غير المطلوب فقط، أكثر مسببات التداخل تأثيراً)

لحدوث التداخل، افترض عدم استيفاء النسبة الدنيا للموجة الحاملة إلى التداخل، C/I ، عند دخل المستقبل. ولحساب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل (C/I) التي يلمسها المستقبل، تقتضي الضرورة إنشاء إحصاءات لمستويات الإشارة المطلوبة والإشارة غير المطلوبة على السواء. ويُفترض أن يصدر البث غير المطلوب في هذه المحاكاة عن مرسلات نشطة. علاوة على ذلك، اعتُبر أن البث الهامشي الواقع في عرض النطاق المستقبل هو المساهم الوحيد في التداخل. ويظهر مثال في الشكل 1 بشأن سيناريو التداخل من الاتصالات المتنقلة على الاتصالات الثابتة.

الشكل 1

مثال سيناريو التداخل الذي يشمل مستقبل تلفزيوني وأجهزة اتصالات راديوية محمولة



جهاز اتصالات
راديوية متنقل
بأسلوب الاستقبال
فقط

جهاز اتصالات
راديوية متنقل
خلال مكالمة

جهاز اتصالات
راديوية متنقل
خلال مكالمة وبث
هامشي في عرض
نطاق المستقبل

جهاز اتصالات راديوية
متنقل خلال مكالمة
وبث هامشي في عرض
نطاق المستقبل بأقل
خسارة اقتران

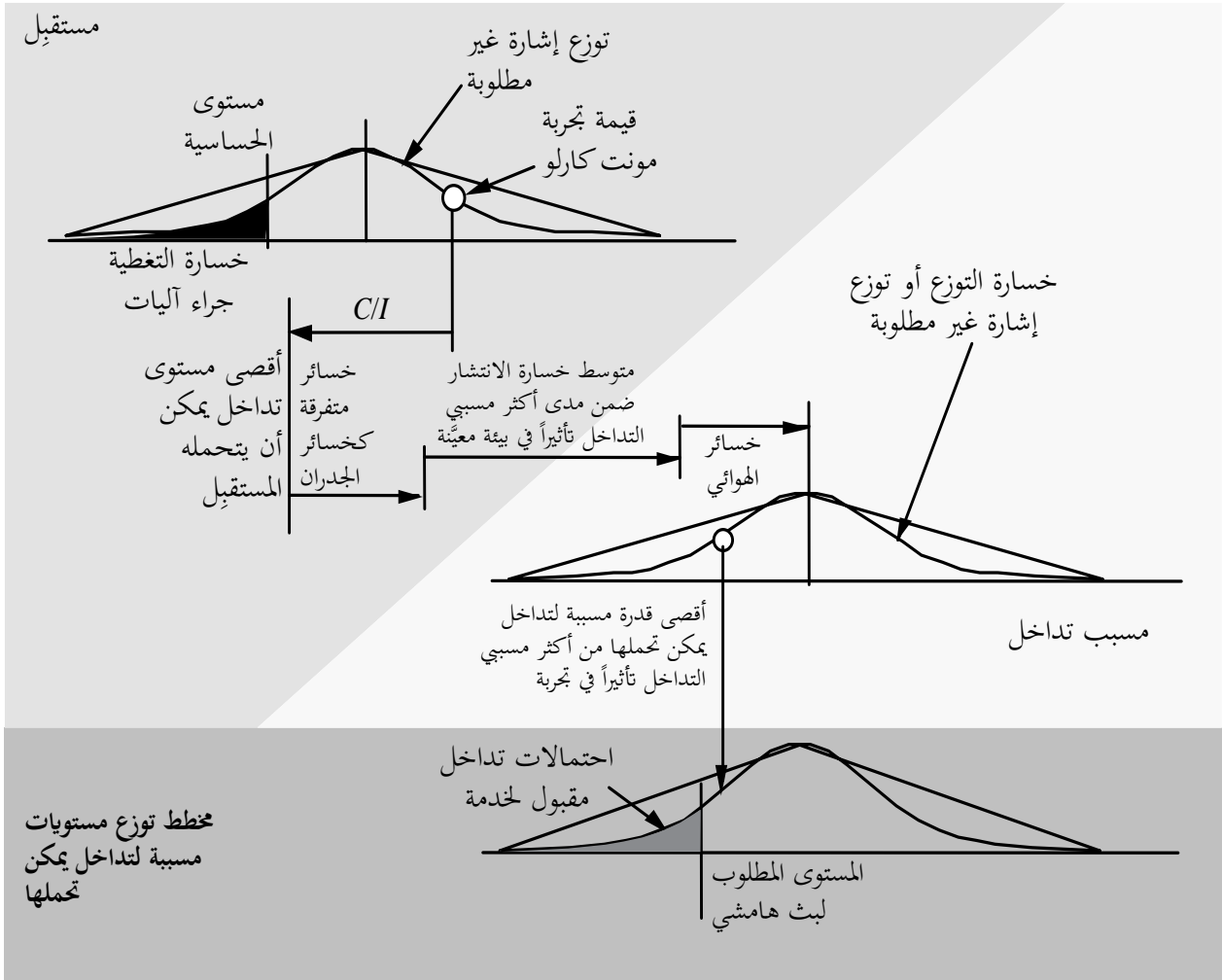
Rapport SM.2028-01

تبيّن العديد من المرسلات المتنقلة المحتملة. ولا ينشط إلا بعض المرسلات بالإرسال في وقت واحد ويث عدد أقل منها طاقة غير مطلوبة في عرض نطاق مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل. ويُفترض أن التداخل يحدث نتيجة بث غير مطلوب من المرسل الأكثر تأثيراً ذي أدنى خسارة مسير (خسارة الانتشار المتوسطة + تغير توهين إضافي + تغير في قدرة الإرسال) إلى المستقبل.

ويرد في الشكل 2 مثال على عملية محاكاة مونت كارلو على النحو المطبق لحساب احتمال التداخل الناجم عن البث غير المطلوب. وفي كل تجربة، يجري سحب عشوائي لمستوى الإشارة المطلوب من توزيع مناسب. وللحصول على مستوى إشارة مطلوب معين، يُشتق أقصى مستوى غير مطلوب عند دخل المستقبل من رقم C/I الخاص بالمستقبل.

الشكل 2

مثال إعداد عملية تقييم وفق منهجية مونت كارلو



Rapport SM.2028-02

وبالنسبة للعديد من مسببات التداخل المحيطة بالمتعرض للتداخل، يُحسب العزل بحكم الموقع وخسارة الانتشار (بما في ذلك أي اختلافات وخسائر إضافية) وتمييز الهوائي. فيحدد العزل الأدنى المستوى الأقصى غير المطلوب الذي يمكن أن يشع من أي من المرسلات خلال هذه التجربة.

ومن العديد من التجارب، يمكن اشتقاق مخطط توزيع المستويات غير المطلوبة، وفي احتمال معين للتداخل، يمكن عندئذٍ تحديد المستوى المقابل غير المطلوب.

ومن خلال تغيير قيم مَعلمات الدخل المختلفة إلى النموذج وكثافة معينة مناسبة لمسببات التداخل، يمكن تحليل مجموعة كبيرة ومتنوعة من سيناريوهات التداخل.

3 متطلبات المعمارية

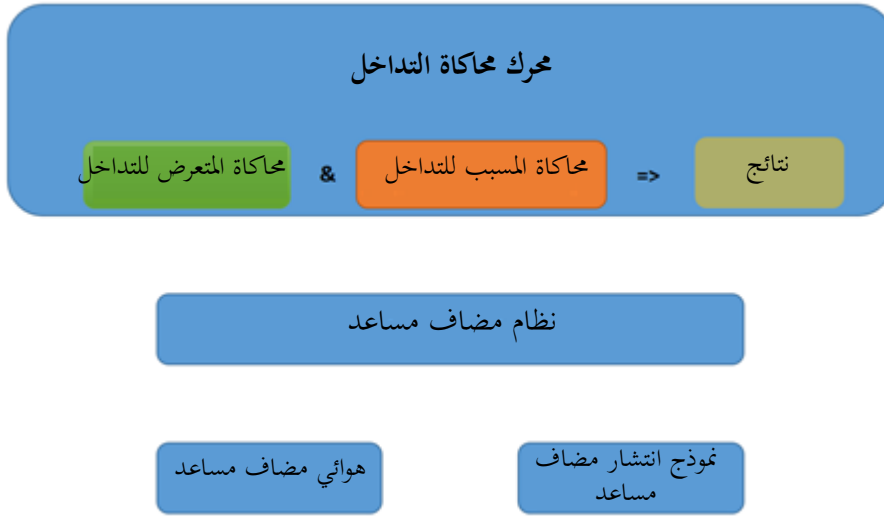
يتمثل أحد المتطلبات الرئيسية في اختيار مثل هذا الهيكل المعماري لأداة محاكاة من شأنه أن يتميز بمرونة كافية لاستيعاب تحليل سيناريوهات تداخل مركب تضم مزيجاً من المعدات الراديوية التي تتشارك في نفس الموثل و/أو مصادر التداخل المتعددة (من قبيل البث خارج النطاق، البث الهامشي، التشكيل البيئي، ...) وتمكن معالجتها في نفس الوقت.

ومن شأن متطلبات أخرى أن تدعو لأن تتكون المعمارية المقترحة من عناصر وحدات تجميعية ومتعددة الاستعمالات بما يكفي للسماح بمعالجة سيناريوهات التداخل المركب.

وبأخذ ذلك في الاعتبار، نُفذ التجريد أدناه للخواص الوظيفية في أداة SEAMCAT حيث يمكن تحقيق الإضافات المساعدة من الخارج اختيارياً.

الشكل 3

تجريد التنفيذ



وترد في الملحق 1 قائمة مَعلمات التداخل وصلتها بمحرك معالجة واحد أو أكثر.

1.3 محرك إنشاء الأحداث

يأخذ المتعرض والمُسبب (المسببات) للتداخل الأنظمة المقابلة من إعدادات مكان العمل.

ويقوم محرك محاكاة التداخل بما يلي:

- محاكاة المتعرض للتداخل التي تولد الإشارات المطلوبة؛
- محاكاة التداخل التي تولد إشارات التداخل؛
- تخزين القيم المجمعة في متجه النتائج المقابل.

وتتكرر هذه العملية N مرة، حيث N هو عدد التجارب الذي ينبغي أن يكون كبيراً بما يكفي لتحقيق نتائج ذات دلالة إحصائية. وتُجرى التجارب على المعلمات الشائعة في المسيرات الراديوية المطلوبة والمسببة للتداخل بشكل متزامن لالتقاط الارتباط المحتمل بين الإشارات المطلوبة والمسببة للتداخل. ولن يغطي هذا التنفيذ حالات التداخل التي نادراً ما تثير فيها آلية تداخل تداخلاً آخر (من قبيل أن يمتزج الإرسال القوي للمرسل الأول مع البث الهامشي للمرسل الثاني وينتج تداخلاً من نمط التشكيل البيئي).

ويرد في الملحق 2 وصف المخطط الوظيفي ووصف الخوارزمية التفصيلية لمحرك إنشاء الأحداث (EGE). وتتضمن قائمة مصادر التداخل المحتملة التي يمكن العثور عليها في بيئة راديوية ما يلي:
ظواهر تداخل المرسل:

- البث غير المطلوب (الهامشي وخارج النطاق)؛
 - ضوضاء النطاق الواسع؛
 - التشكيل البيئي؛
 - القناة المجاورة؛
 - القناة المشتركة.
- ظواهر تداخل المستقبل:
- البث الهامشي.
- ضوضاء الخلفية:

- ضوضاء الهوائي؛
 - ضوضاء من صنع الإنسان.
- معلومات أخرى لإمكانية تعرّض المستقبل لتداخل:
- الحجب؛
 - التحميل الزائد؛
 - نبذ التشكيل البيئي؛
 - نبذ القناة المجاورة والقناة المشتركة؛
 - نبذ الاستجابة الهامشية.

ويمكن تصنيف جميع المصادر المذكورة أعلاه ضمن ثلاث فئات لألية التداخل العامة: البث غير المطلوب والتشكيل البيئي وإمكانية تعرّض المستقبل. وتتطلب كل فئة من الفئات الثلاث المذكورة أعلاه نموذجاً مختلفاً للعمليات الفيزيائية المميزة لألية التداخل هذه. ويمكن اعتبار الضوضاء من صنع الإنسان وضوضاء حرارة الهوائي زيادةً في مستوى الضوضاء الحرارية تُخفض حساسية المستقبل، ويمكن إدخالها في المحاكاة عندما تكون معايير التداخل I/N (نسبة التداخل إلى الضوضاء) أو $C/(I+N)$ (نسبة الإشارة المطلوبة إلى التداخل + الضوضاء).³

2.3 حسابات التداخل

تجرى حسابات التداخل في أداة SEAMCAT بواسطة إضافة مساعدة تطبيق النتائج (التي جمعها محرك محاكاة التداخل) لحساب احتمال تجاوز الحد المعطى للمعيار المحدد C/I أو $C/(N+I)$ ، أو $(N+I)/N$ أو I/N . وتقدم هذه الإضافة المساعدة أسلوبين لحساب الاحتمالات:

- التوافق
- يولد نتيجة واحدة تظهر احتمال تجاوز حد المعيار المحدد.

³ لا تنظر أداة المحاكاة SEAMCAT في جميع المصادر المذكورة آنفاً بشكل منفصل. ويُجمع بين بعض هذه المعلومات في معلمة مشتركة، من قبيل أن يأخذ قناع البث من مرسل في الاعتبار البث غير المطلوب (الهامشي وخارج النطاق) والقناة المجاورة.

- الترجمة

تولد توزيع الاحتمالات التي تنتمي إلى اختلاف معلمة مرجعية، من قبيل قدرة إرسال مسبب للتداخل أو توهين حجب متعرض للتداخل، بالنسبة إلى حد المعيار المحدد.

ويمكن لكلا الأسلوبين الجمع بين كل من النتائج المتولدة من البث غير المطلوب، والحجب، والتشكيل البيئي والحمولة الزائدة. ويرد مزيد من التفاصيل عن كيفية إجراء حسابات التداخل في الملحق 4.

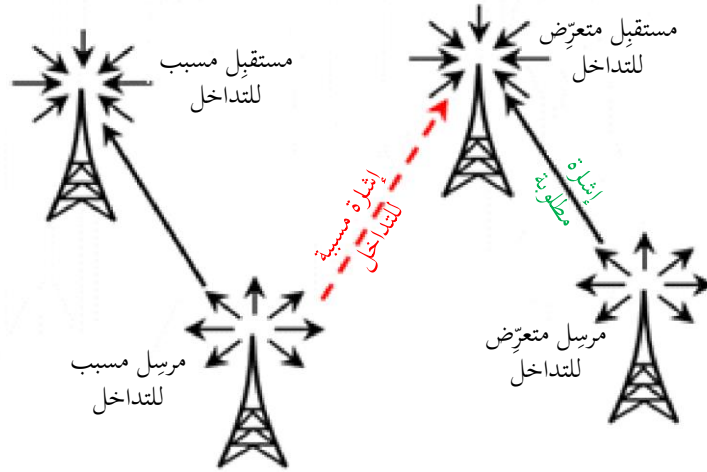
الملحق 1

قائمة مَعلمات الدخُل

في السيناريو التخطيطي الموضح في الشكل أدناه، يتلقى مستقبل النظام المتعرض للتداخل (مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل، VLR) إشارته المطلوبة من المرسل المقابل (مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل، VLT). ويعمل مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل بين مجموعة من مرسل واحد مسبب للتداخل أو أكثر (مرسلات وصلة التداخل، ILT). وبالتالي، يحصل مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل على الإشارة (الإشارات) المسببة للتداخل الناشئة عن مرسل (مرسلات) التداخل، على النحو الموضح في الشكل 4 أدناه.

الشكل 4

سيناريو التوافق التخطيطي



Rapport SM.2028-04

وتطبَّق القواعد التالية:

- يستخدم الحرف الكبير لدالة توزيع، P على سبيل المثال؛
- والحرف الصغير هو متغير (نتيجة حساب أو تجربة)، p على سبيل المثال؛
- ويشير المؤشر إلى جهة فاعلة:
- بالنسبة للنظام المطلوب: مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل (VLT) ومستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (VLR)
- وبالنسبة للنظام المسبب للتداخل: مرسل وصلة التداخل (ILT) ومستقبل وصلة التداخل (ILR)

معلومات مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل (VLT أو المرسل المطلوب)

توزع مستوى القدرة لمختلف المرسلات (dBm)؛	: $P_{VLT}^{supplied}$
عينة مستوى القدرة المأخوذة من التوزع أعلاه (dBm)؛	: $P_{VLT}^{supplied}$
أقصى كسب للهوائي (dBi)؛	: g_{VLT}^{max}
اتجاهية الهوائي ضمن عرض نطاق التشغيل (dB) (مقدمة كدالة أو جدول بحث)؛	: $pattern_{VLT}$
توزع سمت الهوائي (1°)؛	: Φ_{VLT}
توزع ارتفاع الهوائي (1°)؛	: θ_{VLT}
توزع علو الهوائي (1/m)؛	: H_{VLT}
نصف قطر تغطية مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل (km) (غير مطلوب من نقطة إلى نقطة).	: R_{VLT}^{max}

معلومات مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (VLR)

C/I أو $C/(N+I)$ أو $(N+I)/N$ أو I/N : نسبة الحماية (dB)؛	
أقصى كسب للهوائي (dBi)؛	: g_{VLR}^{max}
اتجاهية الهوائي ضمن عرض نطاق التشغيل (dB) (مقدمة كدالة أو جدول بحث)؛	: $pattern_{VLR}$
توزع علو الهوائي (1/m)؛	: H_{VLR}
استجابة المستقبل الترددية (dB)؛	: $block$
يعبر عن خاصية إمكانية تعرض المستقبل كنسبة بين المستويات المطلوبة للإشارة المسببة للتداخل التي تنتج أداءً غير مقبول للمستقبل وهي n بوصفها دالة للفصل الترددي بين الإشارتين؛	: a_{VLR}
استجابة التشكيل البيئي للمستقبل (dB)	: $intermod$
واستجابة التشكيل البيئي هي مقياس لقدرة المستقبل على استقبال إشارة مشكّلة مطلوبة دون الهبوط تحت تردٍ معين بسبب وجود إشارتين غير مطلوبتين لهما علاقة ترددية معينة مع تردد الإشارة المطلوبة؛	
التردد (MHz)؛	: f_{VLR}
حساسية مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (dBm)؛	: $sens_{VLR}$
عرض نطاق مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (kHz).	: b_{VLR}

معلومات مرسل وصلة التداخل (ILT)

توزع مستوى قدرة مختلف المرسلات (dBm)؛	: $P_{ILT}^{supplied}$
عتبة التحكم في القدرة (dBm)؛	: $P_{ILT}^{t_hold}$
المدى الدينامي للتحكم في القدرة (dB)؛	: $P_{ILT}^{dyc_rg}$
مدى خطوة التحكم في القدرة (dB)؛	: $P_{ILT}^{st_rg}$
أقصى كسب للهوائي (dBi)؛	: g_{ILT}^{max}
نصف قطر تغطية مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل (km)؛	: R_{ILT}^{max}
نصف قطر المساحة التي تنتشر فيها مسببات التداخل (km)؛	: R_{simu}

d_0 : الحد الأدنى من الحماية في المسافة (km) بين مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل ومرسل الوصلة المسببة للتداخل؛

$pattern_{ILT}$: اتجاهية الهوائي (dB) (مقدمة كدالة أو جدول بحث)؛

$emission_{rel_{ILT}}$: فناء البث النسبي (dBc)/(عرض النطاق المرجعي)) وهو لا يُستخدم إلا لمسبب التداخل ويتألف من مستوى الإشارة المطلوبة وجميع مصادر البث غير المطلوبة بما في ذلك جزء من أرضية البث تبعاً للتحكم في القدرة؛

$emission_{floor_{ILT}}$: أرضية البث المطلقة (dBm)/(عرض النطاق المرجعي)) وهي لا تُستخدم إلا لمسبب التداخل (البث غير المطلوب الذي يمكن بثه بأقل قدرة ممكنة للمرسل).

علماً بأن عرض النطاق المرجعي للأرضية مثبت بقيمة 1 MHz، لغاية الإصدار 1.1.5 من أداة SEAMCAT.

f_{ILT} : التردد (MHz)؛

$dens_{ILT}$: الكثافة ($1/km^2$)؛

P_{ILT}^{tx} : احتمال الإرسال (%، وهو وصف إحصائي لأنشطة المرسل يُحسب متوسطها من عدد كبير من المستخدمين وخلال فترة زمنية طويلة؛

$temp_{ILT}$: دالة تغير النشاط الزمني المقيسة للوقت خلال يوم (1/ساعة (h)) (عامل النشاط).

معلومات مستقبل وصلة التداخل (ILR أو المستقبل المطلوب) العائدة إلى مرسل وصلة التداخل

g_{ILR}^{max} : أقصى كسب للهوائي (dBi)؛

$pattern_{ILR}$: اتجاهية الهوائي (dB) (مقدمة كدالة أو جدول بحث)؛

H_{ILR} : توزع علو الهوائي (1/m)؛

$sens_{ILR}$: الحساسية الدينامية لمستقبل الوصلة المسببة للتداخل، مع مراعاة هامش الخبو السريع والتداخل داخل النظام (dBm).

معلومات البيئة والانتشار

f_{propag} : قانون الانتشار (متوسط الخسارة + التغير) (يرد في المرفق 1 بالملحق 2)؛

f_{median} : قانون الانتشار (متوسط الخسارة فقط) (يرد في المرفق 1 بالملحق 2)؛

env : نوع البيئة (ضمن المباني/في الخلاء، حضرية/ضواحي/منطقة مفتوحة).

الملحق 2

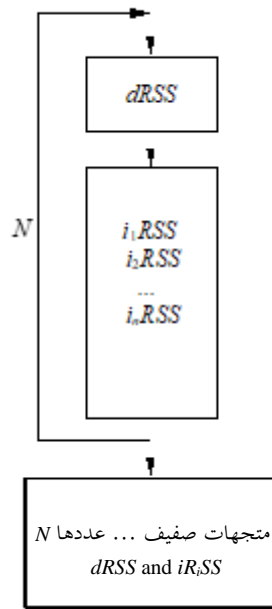
محرك إنشاء الأحداث

مقدمة

يصف هذا الملحق كيفية إنشاء الإشارات المستخدمة في سيناريوهات التداخل: الإشارة المطلوبة وإشارات التداخل الناتجة عن البث غير المطلوب والحجب والتشكيل البيئي. وتُحفظ الإشارات المحسوبة في صفيف يعمل كدخل لمحرك تقييم التوزيع (DEE) على النحو الموضح في الشكل 5.

الشكل 5

المخطط الوظيفي العام لمحرك إنشاء الأحداث (EGE)



Rap 2028-04

المدخلات

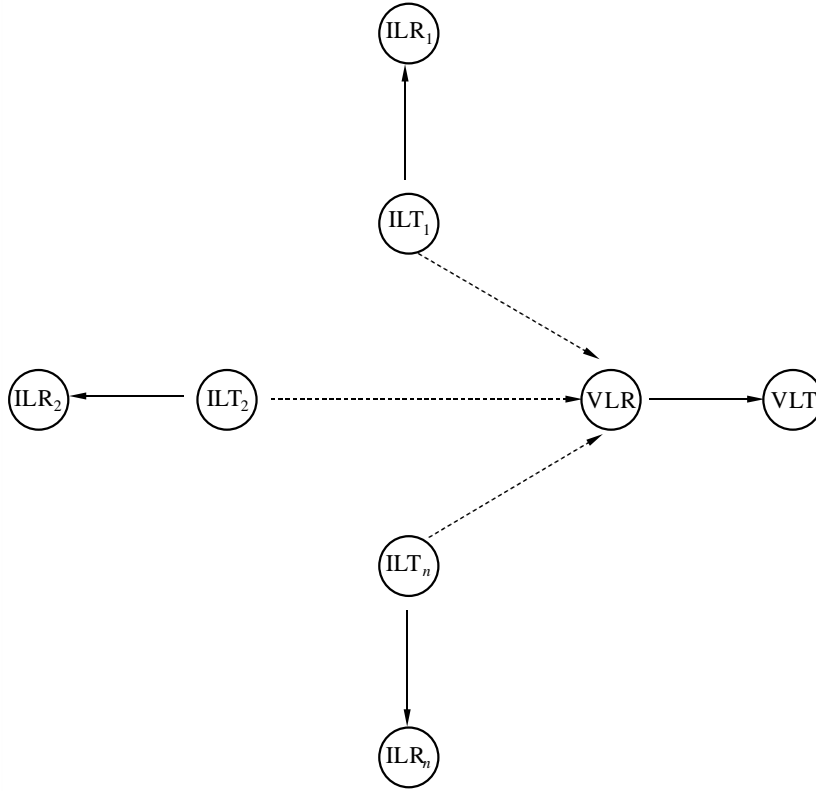
يرد تعريف مَعلمات الدخل في الملحق 1. ويُظهر الشكل 6 مختلف الجهات الفاعلة.

المخرجات

شدة الإشارة المستقبلية المطلوبة (dBm)	$dRSS$
شدة الإشارة المستقبلية المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب (dBm)	$iRSS_{spur}$
شدة الإشارة المستقبلية المسببة للتداخل بسبب الحجب (dBm)	$iRSS_{blocking}$
شدة الإشارة المستقبلية المسببة للتداخل بسبب التشكيل البيئي (dBm)	$iRSS_{intermod}$

الشكل 6

مختلف الجهات الفاعلة المشاركة في محرك إنشاء الأحداث (EGE)



Report SM.2028-05

حساب

في هذا القسم:

- تمثل T تجربة من توزيع معين (خوارزمية موصوفة في المرفق 4).
 - التوزيعات $U(0,1)$ و $G(\sigma)$ و $R(\sigma)$ عرّفة في المرفق 3.
 - يرد المخطط الوظيفي لحساب $dRSS$ في المرفق 5، وترد المخططات الوظيفية لحسابات $iRSS$ في التذييلين 6 و 8.
- الملاحظة 1 - تطبق المسافات d بين المرسلات والمستقبلات بوحدة الكيلومتر (km).

أ) حساب $dRSS$

هناك ثلاثة خيارات مختلفة لتحديد $dRSS$: اعتماداً على مسافة متغيرة، أو لمسافة ثابتة أو باستخدام توزيع إشارة معين (انظر المرفق 5).
حالة المسافة المتغيرة:

$$dRSS = f(p_{VLT}^{supplied}, g_{VLT \rightarrow VLR}, pl_{VLT \leftrightarrow VLR}, g_{VLR \leftrightarrow VLT}) = p_{VLT}^{supplied} + g_{VLT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) - pl_{VLT \leftrightarrow VLR}(f_{VLR}) + g_{VLR \leftrightarrow VLT}(f_{VLR})$$

إذا عجزت الإشارة المستقبلية عن تجاوز قيمة معينة (أي إذا كانت تعتمد على التحكم في القدرة المطبق في النظام المتعرض للتداخل)، عندئذٍ:

$$dRSS = \min(dRSS, DRSS_{max})$$

على النحو المحسوب قبلاً

حيث:

f_{VLR} : التردد المستقبَل في مستقبل الوصلة المتعرّضة للتداخل

$$f_{VLR} = T(f_{VLR})$$

ويمكن تثبيت هذا التردد أو تحديده بتوزع معين، كتوزع ترددي منفصل (انظر المرفق 3). وبشكل عام، ينبغي عدم تثبيت التردد المتعرّض للتداخل بل حسابه واختياره عشوائياً كتردد التداخل باستخدام توزع منفصل (انظر أيضاً ب)).

$P_{VLT}^{supplied}$: أقصى توزع لمستوى قدرة يورّد إلى هوائي مرسل الوصلة المتعرّضة للتداخل

$$P_{VLT}^{supplied} = T(P_{VLT}^{supplied})$$

$pl_{VLT \leftrightarrow VLR}$: خسارة المسير بين مرسل الوصلة المتعرّضة للتداخل ومستقبل الوصلة المتعرّضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبية) حسبما إذا كانت معايير التداخل ستنتطبق على $dRSS$ الآنية (باستبعاد خبو رايلي) أو على متوسط $dRSS$

$$pl_{VLT \leftrightarrow VLR} = f_{propag}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, d_{VLT \leftrightarrow VLR}, env)$$

أو

$$pl_{VLT \leftrightarrow VLR} = f_{median}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, d_{VLT \leftrightarrow VLR}, env)$$

حيث:

h_{VLR} : علو هوائي مستقبل الوصلة المتعرّضة للتداخل

$$h_{VLR} = T(H_{VLR})$$

$$h_{VLR} = T(U(h_{VLR}^{min}, h_{VLR}^{max})) = h_{VLR}^{min} + (h_{VLR}^{max} - h_{VLR}^{min}) T(U(0, 1))$$

h_{VLT} : علو هوائي مرسل الوصلة المتعرّضة للتداخل

$$h_{VLT} = T(H_{VLT})$$

$$h_{VLT} = T(U(h_{VLT}^{min}, h_{VLT}^{max})) = h_{VLT}^{min} + (h_{VLT}^{max} - h_{VLT}^{min}) T(U(0, 1))$$

$d_{VLT \leftrightarrow VLR}$: المسافة بين مستقبل الوصلة المتعرّضة للتداخل ومرسل الوصلة المتعرّضة للتداخل

$$d_{VLT \leftrightarrow VLR} = T(R_{max}^{VLT})$$

$$d_{VLT \leftrightarrow VLR} = R_{max}^{VLT} \sqrt{T(U(0, 1))} \text{ من قبيل:}$$

تُعتبر ثلاثة خيارات مختلفة لنصف القطر R_{max}^{VLT} :

الخيار 1: المسافة المحددة R_{max}^{VLT}

الخيار 2: شبكة محدودة الضوضاء

R_{max}^{VLT} يتحدد بالمعادلة التالية:

$$f_{median}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, d_{VLT \leftrightarrow VLR}, env) + f_{slowfading}(X\%) = P_{VLT}^{supplied} + g_{VLT}^{max} + g_{VLR}^{max} - sens_{VLR}$$

حيث:

f_{median} : خسارة الانتشار التي لا تشمل الخبو البطيء

$f_{slowfading}(X\%)$: هامش الخبو المستخدم لخسارة تغطية 1-X%.

وفي حالة الخبو اللوغاريتمي العادي وخسارة تغطية بنسبة 95% عند حافة التغطية، على مسافات طويلة، تُعرف قيمة $f_{slowfading}$ جيداً على أنها جداء 1,64 والانحراف المعياري لخسارة الانتشار. ويرد في المرفق 11 مزيد من تفاصيل تحديد مقياس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء.

الخيار 3: شبكة محدودة الحركة

$$R_{max}^{VLT} = \sqrt{\frac{n_{channels} n_{userperchannel}}{\pi dens_{max} cluster frequency}}$$

$g_{VLT \rightarrow VLR}$: كسب هوائي مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل في اتجاه مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل

$$g_{VLT \rightarrow VLR} = f(g_{VLT}^{max}, pattern_{VLT}) = g_{VLT}^{max} \times pattern_{VLT}(\theta_{VLT \rightarrow VLR}, \phi_{VLT \rightarrow VLR}, f_{VLR})$$

حيث:

$(\theta_{VLT \rightarrow VLR}, \phi_{VLT \rightarrow VLR})$: زاويتا السمات والارتفاع بين قمة هوائي مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل وقمة هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل:

$$\theta_{VLT \rightarrow VLR} = T(U(0, 2\pi)) = 2\pi \times T(U(0, 1)) \quad \text{مثال:}$$

$$\phi_{VLT \rightarrow VLR} = T\left(U\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)\right) = \pi \times T(U(0, 1)) - \frac{\pi}{2}$$

ولحساب كسب مخططات إشعاع الهوائي المتناظرة، انظر المرفق 12.

$g_{VLR \rightarrow VLT}$: كسب هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل في اتجاه مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل

$$g_{VLR \rightarrow VLT} = f(g_{VLR}^{max}, pattern_{VLR}) = g_{VLR}^{max} \times pattern_{VLR}(\theta_{VLT \rightarrow VLR} + \pi, -\phi_{VLT \rightarrow VLR}, f_{VLR})$$

حالة المسافات الثابتة:

$$P_{VLT}^{nominal} \quad \text{توزع القدرة الاسمي}$$

$$f_{fading, fixed link} \quad \text{توزع الخبو}$$

$$dRSS = f(P_{VLT}^{nominal}, f_{fading, fixed link}) = T(P_{VLT}^{nominal}) - T(f_{fading, fixed link})$$

حالة $dRSS$ معينة: توزع يعطى من المستخدم.

(ب) حساب $iRSS_{block}$

$$iRSS_{block} = \sum_{j=1}^{n_{interferers}} f(p_{ILT}^{supplied}, g_{ILT}^{PC}, g_{ILT \rightarrow VLR}, p_{ILT \leftrightarrow VLR}, a_{VLR}, g_{VLR \rightarrow ILT})_j = 10 \log \sum_{j=1}^{n_{interferers}} 10^{i_{block}/10}$$

حيث تعطى إشارة مسبب التداخل رقم z بالمعادلة التالية:

$$i_{block_j} \equiv \left(p_{ILT}^{supplied} + g_{ILT}^{PC} + g_{ILT \rightarrow VLR}(f_{ILT}) - p_{ILT \leftrightarrow VLR} - a_{VLR} + g_{VLR \rightarrow ILT}(f_{ILT}) \right)_j$$

وحيث في كل مسبب تداخل:

$$f_{ILT} \quad \text{تردد إرسال مسبب التداخل}$$

$$f_{ILT} = T(f_{ILT})$$

ولمعرفة توزع التردد المنفصل، انظر المرفق 3.

ويُتضح أن تجربة تردد $dRSS$ ، f_{VLR} ، لا تحدث سوى مرة واحدة في كل جولة محاكاة، أي يجزَّب f_{VLR} مرة واحدة في المواقع المتعرَّضة للتداخل المطلوبة، وبشدة الإرسال المطلوبة، والتوزيعات الأخرى المتعلقة بالوصلة المتعرَّضة للتداخل. ثم تطبَّق هذه القيم المجزَّبة من توزيعات $dRSS$ على $N < N$ من تجارب $iRSS$ (حيث N هو عدد المسببات للتداخل). وإذا أمكن الحد من عشوائية بعض المعلومات، يمكن استخدام النموذج أيضاً ليس للمحاكاة فقط، بل أيضاً لإجراء حسابات أدق. وتتيح هذه الميزة التحقق بسهولة من صحة نتائج المحاكاة.

$P_{ILT}^{supplied}$: القدرة القصوى المزودة لهوائي مرسل وصلة التداخل (قبل التحكم في القدرة)

$$P_{ILT}^{supplied} = T(P_{ILT}^{supplied})$$

g_{ILT}^{PC} : كسب التحكم في القدرة لمرسل الوصلة المسببة للتداخل

$$g_{ILT}^{PC} = f_{pc} \left(P_{ILT}^{supplied}, g_{ILT \rightarrow VLR}, P_{ILT \leftrightarrow VLR}, g_{VLR \rightarrow ILT}, P_{ILT}^{t_hold}, P_{ILT}^{dyc_rg}, P_{ILT}^{st_rg} \right)$$

حيث:

f_{pc} : دالة التحكم في القدرة (الواردة في المرفق 2)

$pl_{ILT \leftrightarrow ILR}$: خسارة المسير بين مرسل الوصلة المسببة للتداخل ومستقبل الوصلة المسببة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة). وحسب تنفيذ التحكم في القدرة، يمكن أن يكون ذلك إما متوسط خسارة المسير أو خسارة المسير الآنية (باستبعاد خبو رايلي):

$$pl_{ILT \leftrightarrow ILR} = f_{propag}(f_{ILT}, h_{ILR}, h_{ILT}, d_{ILT \leftrightarrow ILR}, env) + f_{clutter}(env)$$

أو

$$pl_{ILT \leftrightarrow ILR} = f_{mean}(f_{ILT}, h_{ILR}, h_{ILT}, d_{ILT \leftrightarrow ILR}, env) + f_{clutter}(env)$$

حيث:

h_{ILR} : علو هوائي مستقبل الوصلة المسببة للتداخل

$$h_{ILR} = T(H_{ILR})$$

$$h_{ILR} = T(U(h_{ILR}^{min}, h_{ILR}^{max})) = h_{ILR}^{min} + (h_{ILR}^{max} - h_{ILR}^{min}) T(U(0, 1)) \quad \text{مثال:}$$

h_{ILT} : علو هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل

$$h_{ILT} = T(H_{ILT})$$

$$h_{ILT} = T(U(h_{ILT}^{min}, h_{ILT}^{max})) = h_{ILT}^{min} + (h_{ILT}^{max} - h_{ILT}^{min}) T(U(0, 1)) \quad \text{مثال:}$$

$d_{ILT \leftrightarrow ILR}$: المسافة بين مرسل وصلة التداخل ومستقبل وصلة التداخل

$$d_{ILT \leftrightarrow ILR} = T(R_{max}^{ILT})$$

$$d_{ILT \leftrightarrow ILR} = R_{max}^{ILT} \sqrt{T(U(0, 1))} \quad \text{مثال:}$$

تُختار ثلاثة خيارات مختلفة لنصف القطر R_{max}^{ILT} :

الخيار 1: المسافة المحددة R_{max}^{ILT}

الخيار 2: شبكة محدودة الضوضاء

الخيار 3: شبكة محدودة الحركة

وللاطلاع على مزيد من التفاصيل عن تحديد مقاس الخلية انظر (أ).

كسب هوائي مرسل وصلة التداخل في اتجاه أقرب محطة قاعدة $:g_{ILT \rightarrow ILR}$

$$g_{ILR \rightarrow ILT} = f(g_{ILR}^{max}, pattern_{ILR}) = g_{ILR}^{max} \times pattern_{ILR}(\theta_{ILT \rightarrow ILR} + \pi, \Phi_{ILT \rightarrow ILR}, f_{ILT})$$

حيث:

زاويتا السمات والارتفاع بين قمة هوائي مرسل وصلة التداخل وقمة هوائي مستقبل وصلة التداخل $(\theta_{ILT \rightarrow ILR}, \Phi_{ILT \rightarrow ILR})$

$$\theta_{ILT \rightarrow ILR} = T(U(0, 2\pi)) = 2\pi \times T(U(0, 1)) \text{ مثال:}$$

$$\Phi_{ILT \leftrightarrow ILR} = T\left(U\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)\right) = \pi T \times (U(0, 1)) - \frac{\pi}{2}$$

ولحساب كسب مخططات إشعاع الهوائي المتناظرة، انظر المرفق 12.

كسب هوائي محطة القاعدة في اتجاه مرسل وصلة التداخل $:g_{ILR \rightarrow ILT}$

$$g_{ILR \rightarrow ILT} = f(g_{ILR}^{max}, pattern_{ILR}) = g_{ILR}^{max} \times pattern_{ILR}(\theta_{ILT \rightarrow ILR} + \pi, -\Phi_{ILT \rightarrow ILR}, f_{ILT})$$

خسارة المسير بين مرسل وصلة التداخل i ومستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة).

$$pl_{ILT \leftrightarrow VLR} = f_{propag}(f_{ILT}, h_{VLR}, h_{ILT}, d_{ILT \leftrightarrow VLR}, env)$$

أو

$$pl_{VLT \leftrightarrow VLR} = f_{median}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, d_{VLT \leftrightarrow VLR}, env)$$

ويعتمد الاختيار بين f_{propag} و f_{median} على معايير التداخل، ويرتبط ارتباطاً وثيقاً بما يقع عليه الاختيار لتقييم $dRSS$ ، من قبيل ما إذا كان محرك حساب التداخل (ICE) سيقيم:

$$\frac{dRSS_{mean}}{iRSS_{mean}}; \frac{dRSS_{propag}}{iRSS_{propag}}; \frac{dRSS_{mean}}{iRSS_{propag}};$$

حيث:

h_{VLR} : علو هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (معرف في حساب $dRSS$)

h_{ILT} : علو هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل (معرف سابقاً)

$d_{ILT \leftrightarrow VLR}$: المسافة بين مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل ومرسل الوصلة المسببة للتداخل.

وتوجد ثلاثة طرق مختلفة لاختيار $d_{ILT \leftrightarrow VLR}$:

1 تظهر الحالة الأكثر شيوعاً عند غياب التلازم المكاني بين عناصر النظام المتعرض للتداخل وعناصر النظام المسبب للتداخل.

عندئذ $d_{ILT \leftrightarrow VLR}$ هي نتيجة تجربة:

$$d_{ILT \leftrightarrow VLR} = R_{simu} \sqrt{T(U(0, 1))}$$

حيث:

R_{simu} : نصف قطر المساحة التي تنتشر فيها مسببات التداخل

$$R_{simu} = \sqrt{\frac{n^{active}}{\pi dens_{ILT}^{active}}}$$

حيث:

n^{active} : عدد مسببات التداخل النشطة قيد النظر في المحاكاة

$dens_{ILT}^{active}$: كثافة مرسلات وصلة التداخل، ILT ، (أي مسببات تداخل نشطة عددها km^2/n). وينبغي أن تكون كبيرة بما يكفي كي تُحمل قدرة التداخل الإضافية التي يجلبها مسبب التداخل رقم $1+n$.

$$dens_{ILT}^{active} = dens_{ILT} \times p_{ILT}^{tx} \times temp_{ILT}(time)$$

وإذا توفر الحد الأدنى من الحماية، $d_{ILT \leftrightarrow VLR} \geq d_0$ ، بين مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل ومرسل الوصلة المسببة للتداخل، فإن R_{simu} يؤدي إلى:

$$R_{simu} = \sqrt{\frac{n^{active}}{\pi dens_{ILT}^{active}} + d_0^2}$$

علماً بأن كل تجربة تحقق المتراجحة $d_{ILT \leftrightarrow VLR} < d_0$ يجب رفضها وتكرارها في تجربة أخرى تحقق المتراجحة $d_{ILT \leftrightarrow VLR} \geq d_0$.
وعلماً بوجود اختيار توزيع منتظم لمرسل وصلة التداخل إذا كانت مسافة الحماية $0 < d_0$.

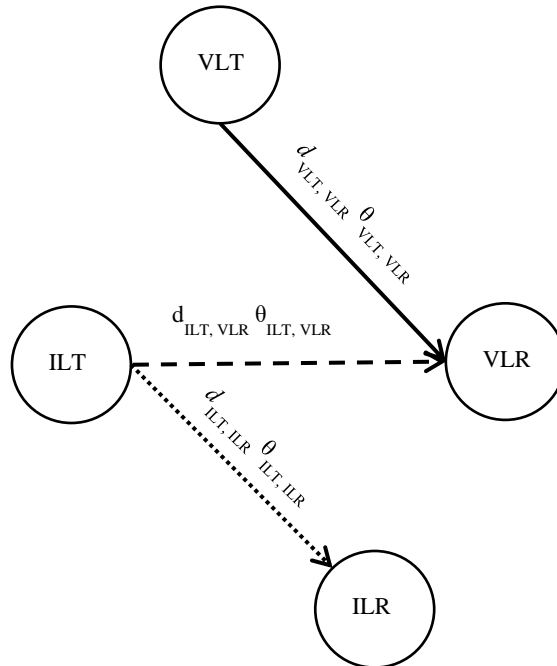
2 تتناول هذه الحالة الوضع الذي يكون فيه النظام المتعرض للتداخل والنظام المسبب للتداخل متلازمين جغرافياً (مثل محطات القاعدة المشاركة في نفس الموقع).

ويُفترض أن ينحصر هذا التلازم بين عنصر واحد (VLR أو VLT) من النظام المتعرض للتداخل وعنصر واحد (ILT أو ILR) من النظام المسبب للتداخل.

وتجرى تجربة (إذا لم تكن المسافة ثابتة) للمسافات والزوايا بين العنصرين المتلازمين ($d_{ILT \leftrightarrow VLR}$ ، $\theta_{ILT \leftrightarrow VLR}$ على سبيل المثال).
وتمكن معرفة ($d_{ILT \leftrightarrow VLR}$ ، $\theta_{ILT \leftrightarrow VLR}$) من اشتقاق الإحداثيات المفقودة، ($d_{ILT \leftrightarrow ILR}$ ، $\theta_{ILT \leftrightarrow ILR}$ ، $d_{VLR \leftrightarrow VLT}$ ، $\theta_{VLR \leftrightarrow VLT}$) على سبيل المثال).

الشكل 7

سيناريو التداخل بالتلازم الجغرافي بين الأنظمة المتعرضة للتداخل والأنظمة المسببة للتداخل



3 أقرب مسبب للتداخل

يمكن تقدير تأثير أقرب مسبب للتداخل من خلال وجود مسافة $d_{ILT \leftrightarrow VLR}$ باتباع توزيع رايلي $R(\sigma)$ المعرف في المرفق 3 بالملحق 2 وحيث ترتبط المعلمة σ بكثافة المرسلات. وهذا أسلوب بديل لحساب الموقع النسبي لمرسل الوصلة المسببة للتداخل (ILT) فيما يتعلق بمستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (VLR) في الأسلوب غير المتلازم، وينبغي أن يتجنب إجراء تجارب متعددة على عدد المسببات للتداخل.

وفي هذه الحالة يكون توزيع المسافة بين ILT و VLR في منطقة المحاكاة دائماً هو توزيع رايلي:

$$d_{ILT \leftrightarrow VLR} = R_{simu} \times R(\sigma)$$

حيث يرتبط الانحراف المعياري σ بكثافة المرسلات النشطة:

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{2\pi dens_{ILT}^{active}}}$$

علماً بأن نصف قطر المحاكاة عديم الجدوى ولكن المعلمات المرتبطة به (الكثافة والنشاط والاحتمالات) لا تزال مطلوبة لحساب كثافة المرسلات النشطة.

$$dens_{ILT}^{active} = dens_{ILT} \times p_{ILT} \times activity$$

$g_{ILT \rightarrow VLR}(f_{ILT})$: كسب هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل في اتجاه مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل

$$g_{ILT \rightarrow VLR} = f(g_{ILT}^{max}, pattern_{ILT}) = g_{ILT}^{max} \times pattern_{ILT}(\theta_{ILT \rightarrow VLR}, \phi_{ILT \rightarrow VLR}, f_{ILT})$$

حيث:

$(\theta_{ILT \rightarrow VLR}, \phi_{ILT \rightarrow VLR})$: زاويتا السمات والارتفاع بين قمة أقرب هوائي مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل وقمة هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل

$$\theta_{ILT \rightarrow VLR} = T(U(0, 2\pi)) = 2\pi \times T(U(0, 1)) \quad \text{مثال:}$$

$$\phi_{ILT \leftrightarrow VLR} = T\left(U\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)\right) = \pi \times T(U(0, 1)) - \frac{\pi}{2}$$

$a_{VLR}(f_{ILT}, f_{VLR})$: توهين مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل.

ويُنظر في ثلاث طرق ممكنة لحساب هذا التوهين:

1 يعطى a_{VLR} من المستخدم.

2 يُعطى الحجب بدلالة توهين الحجب أو نسبة الحماية. وللإشارة المطلوبة بنسبة 3 dB فوق الحساسية، يمكن اشتقاق التوهين a_{VLR} من المعادلة التالية (انظر المرفق 7):

$$a_{VLR} = f\left(\frac{C}{N+I}, block_{att}\right) = 3 + \frac{C}{N+I} + block_{att}(f_{ILT}, f_{VLR})$$

3 يُعطى الحجب بدلالة المستوى المطلق للحجب:

$$a_{VLR} = f\left(\frac{C}{N+I}, block_{abs}\right) = \frac{C}{N+I} + block_{abs}(f_{ILT}, f_{VLR}) - sens_{VLR}$$

وثنوخي حالتان:

الحالة 1: الحجب هو قناع يشكل دالة $\Delta f = (f_{ILT} - f_{VLR})$. تطبق لتمكين حسابات التداخل بين الأنظمة في النطاقات المجاورة؛

الحالة 2: الحجب هو قيمة ثابتة (80 dBm على سبيل المثال). ويستخدم لاشتقاق حدود عامة.

كسب هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل في اتجاه مرسل الوصلة المتعرضة للتداخل $g_{VLR \rightarrow ILT}(f_{ILT})$:

$$g_{VLR \rightarrow ILT} = f(g_{VLR}^{max}, pattern_{VLR}) = g_{VLR}^{max} \times pattern_{VLR}(\theta_{ILT \rightarrow VLR}, \phi_{ILT \rightarrow VLR}, f_{ILT})$$

ج) حساب $iRSS_{spur}$

$$iRSS_{spur} = f(emission_{ILT}, g_{ILT \rightarrow VLR}, pl_{ILT \rightarrow VLR}, g_{VLR \rightarrow ILT}) = 10 \log \sum_{j=1}^{n_{interferers}} 10^{i_{spur_j}/10}$$

حيث تُعرّف إشارة مسبب التداخل رقم z على النحو التالي:

$$i_{spur_j} = (emission_{ILT}(f_{ILT}, f_{VLR}) + g_{ILT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) - pl_{ILT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) + g_{VLR \rightarrow ILT}(f_{VLR}))$$

سبق تعريف معظم المعلمة إما في أ) أو ب).

$emission_{ILT}(f_{ILT}, f_{VLR})$: قناع البث من مرسل الوصلة المسببة للتداخل الذي يعتمد بشكل عام على قناع البث النسبي، وقدرة التداخل، والتحكم في قدرة الكسب وعرض نطاق البث الناتج عن أرضية البث المطلقة. وللاطلاع على المزيد من التفاصيل وتأثير عروض النطاق المختلفة للأنظمة الراديوية المطلوبة والمسببة للتداخل، انظر المرفق 10 بالملحق 2.

$$emission_{ILT}(f_{ILT}, f_{VLR}) = \max \{ p_{ILT}^{supplied} + emission_{rel_{ILT}}(f_{ILT}, f_{VLR}) + g_{ILT}^{PC}, emission_{floor_{ILT}}(f_{ILT}, f_{VLR}) \}$$

$emission_{rel_{ILT}}$: قناع بث نسبي يشكل دالة $\Delta f = (f_{ILT}, f_{VLR})$ تطبق لتمكين حسابات التداخل بين الأنظمة في النطاقات نفسها أو المجاورة. ودائماً ما يكون البث الحقيقي أكبر من أو يساوي أرضية البث المطلقة $floor_{ILT}(f_{ILT}, f_{VLR})$

كسب التحكم في القدرة لمرسل الوصلة المسببة للتداخل (معرّف في ب)) : g_{ILT}^{PC}

خسارة المسير بين مرسل الوصلة المسببة للتداخل ومستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة). : $pl_{ILT \leftrightarrow VLR}$

$$pl_{ILT \leftrightarrow VLR} = f_{propag}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{ILT}, d_{ILT \leftrightarrow VLR}, env) + f_{clutter}(env)$$

حيث:

علو هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (معرّف في حساب $dRSS$) : h_{VLR}

علو هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل (معرّف في ب)) : h_{ILT}

المسافة بين مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل ومرسل الوصلة المسببة للتداخل (المعرفة في ب)) : $d_{ILT \leftrightarrow VLR}$

كسب هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل في اتجاه مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل : $g_{ILT \rightarrow VLR}(f_{VLR})$

$$g_{ILT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) = (g_{ILT}^{max}, pattern_{ILT}) = g_{ILT}^{max} \times pattern_{ILT}(\theta_{ILT \rightarrow VLR}, \phi_{ILT \rightarrow VLR}, f_{VLR})$$

حيث:

$(\theta_{ILT \rightarrow VLR}, \phi_{ILT \rightarrow VLR})$: زاويتا السمات والارتفاع بين قمة أقرب هوائي مرسل الوصلة المسببة للتداخل وقمة هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل (المعرفة في ب)

$g_{VLR \rightarrow ILT}(f_{VLR})$: كسب هوائي مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل في اتجاه مرسل الوصلة المسببة للتداخل

$$g_{VLR \rightarrow ILT}(f_{VLR}) = (g_{VLR}^{max} pattern_{VLR}) = g_{VLR}^{max} \times pattern_{VLR}(\theta_{VLR \rightarrow ILT} + \pi, -\phi_{VLR \rightarrow ILT}, f_{VLR})$$

(د) حساب $iRSS_{intermod}$

$$iRSS_{intermod} = f(p_{ILT,k}^{supplied}, g_{ILT,k}^{pc}, g_{ILT,k \rightarrow VLR}, pl_{ILT,k \rightarrow VLR}, g_{VLR \rightarrow ILT,k}, sens_{VLR}, intermod) \quad \text{with } k = i, j$$

$$= 10 \log \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n 10^{i, j RSS_{intermod}/10}$$

حيث:

$i, j RSS_{intermod}$: حصيلة التشكيل البيئي من الدرجة الثالثة عند التردد f_0

$$i, j RSS_{intermod} = 2i, RSS_{int} + j, RSS_{int} - 3intermod - 3sens_{VLR} - 9 \quad \text{dB}$$

يرسل المرسل المسبب للتداخل رقم i على التردد والمرسل المسبب للتداخل رقم j على التردد $(f_{ILT,j}, f_{it,j})$ ، الذي يعرف $\Delta f = f_{ILT,j} - f_{ILT}$ وينتج $f_0 = f_{ILT} - \Delta f = 2f_{ILT} - f_{ILT,j}$. وبافتراض مرشح مثالي (عامل تناقص 0)، لا يجب النظر في حصيلة التشكيل البيئي إلا في عرض النطاق b .

$$f_{VLR} - b/2 \leq f_0 \leq f_{VLR} + b/2$$

وفي جميع الحالات الأخرى، يمكن تجاهل حصيلة التشكيل البيئي.

$i, k RSS_{int}$: القدرة المستقبلة في مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل بسبب مسبب التداخل $k = i$ على التردد f_{ILT} أو مسبب التداخل $k = j$ at $f_{ILT,j}$

$$i, k RSS_{int} = P_{ILT,k}^{supplied}, g_{ILT,k}^{pc}, g_{ILT,k \rightarrow VLR}, pl_{ILT,k \leftrightarrow VLR}, g_{VLR \rightarrow ILT,k}$$

وتعرف المعلومات المختلفة في الفقرات من أ) إلى ج) السابقة. ولحساب $i, j RSS_{int}$ يمكن استخدام نفس الخوارزميات

على النحو الموضح في المرفق 6 لأن $i, j RSS_{int}$ تقابل $i, j RSS_{block} + a_{VLR}(f_{ILT}, f_{VLR})$.

$intermod$: استجابة التشكيل البيئي للمستقبل لإشارة مطلوبة نسبتها 3 dB فوق الحساسية.

وتتوخى حالتان:

الحالة 1: تعطى $intermod$ من المستخدم، فعلى سبيل المثال القيم النمطية هي 70 dB لمعدات محطة القاعدة و 65 dB للمعدات المتنقلة والمحمولة. وتستخدم لاشتقاق حدود عامة.

الحالة 2: تُقاس $intermod(\Delta f)$ كدالة Δf المحالة إلى f_{VLR} (انظر المرفق 9 بالملحق 2).

$sens_{VLR}$: حساسية مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل.

المرفق 1 بالملاحق 2

نموذج الانتشار

يقدم عدد من نماذج الانتشار في الأداة. وهي تعتمد على البيئة المختارة للسينايويوهات:

- البيئة العامة: منطقة مفتوحة أو منطقة ضواحي أو منطقة حضرية؛
- بيئة مسببات التداخل: داخل المباني أو في الخلاء؛
- بيئة مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل: داخل المباني أو في الخلاء.

وتقدم الأداة نماذج انتشار مدمجة فيها ولكنها تقدم أيضاً وسائل برمجية نماذج الانتشار المعرّفة بواسطة المستخدم (الإضافة المساعدة). ويرد وصف ميدان صلاحية النماذج في الجدول 1.

الجدول 1

النموذج	المدى الترددي	مدى المسافة	تطبيق نمطي
التوصية ITU-R P.452	100 MHz - 50 GHz	حتى 10 000 km	عدم تجاوز التنبؤ بالتداخل من نقطة إلى نقطة بين المحطات على سطح الأرض خلال نسب مئوية من الوقت تتراوح بين 0,001% و 50%، وهو ما يمثل آليات تداخل في الهواء الطلق (الانعراج والانتشار عبر المجاري/الانعكاس الطبقي والانتشار التروبوسفيري).
التوصية ITU-R P.525 التوهين في الفضاء الطلق		محدد بخط البصر	الوصلات الثابتة والأنظمة/المسيرات الأخرى حيث يمكن افتراض خط البصر المباشر.
التوصية ITU-R P.528	125 MHz - 15,5 GHz	حتى 1 800 km	خدمات الطيران والخدمات الساتلية: وصلات جو-أرض، وأرض-ساتل، وجو-جو، وساتل-ساتل. ويتراوح علو هوائي الأرض بين 1,5 m و 1 000 m، وعلو هوائي الطيران بين 1 000 m و 20 000 m، والنسبة المئوية للوقت بين 1% و 95%
التوصية ITU-R P.1411 (الفقرة 3.4)	300 MHz - 3 GHz	حتى 3 km	انتشار بين المطاريف الواقعة بين علو أسفل السقف ومستوى الشارع القريب (يتراوح علو الهوائي بين 1,9 m إلى 3 m) ويتراوح احتمال الموقع بين 1% و 99%.
التوصية ITU-R P.1546	30 MHz - 3 GHz	حتى 1 000 km	خدمات إذاعية وخدمات أرضية أخرى، يُنظر فيها عادةً في الحالات التي تحتوي على هوائي إرسال منصوب على علو مرتفع. ويصل العلو الفعال هوائي المرسل إلى 3 000 m، وعلو هوائي الاستقبال فوق 1 m، وتتراوح النسبة المئوية للوقت بين 1% و 50%، والنسبة المئوية للموقع بين 1% و 99%.

النموذج	المدى الترددي	مدى المسافة	تطبيق نمطي
هاتا (Hata) الموسع	30 MHz - 3 GHz	حتى 40 km	الخدمات المتنقلة والخدمات الأخرى التي تعمل في بيئة خارج خط البصر/ذات جلبة. علماً بأن النموذج يمكن استخدامه، من الناحية النظرية، على مسافة تصل إلى 100 km نظراً لانحناء الأرض، ولكن من الناحية العملية يوصى باستخدامه على مسافة تصل إلى 40 km. ويتراوح علو الهوائي الأقصى بين 30 m و 200 m، وعلو الهوائي الأدنى بين 1,5 m و 10 m.
هاتا الموسع للأجهزة قصيرة المدى	30 MHz - 3 GHz	حتى 300 m	وصلات قصيرة المدى بافتراض خط البصر المباشر وتراوح علو الهوائي بين 1,5 m و 3 m.
الانعراج الكروي	فوق 3 GHz	حتى الأفق الراديوي وما بعده	التنبؤ بالتداخل على المسيرات الأرضية في المناطق المفتوحة في الغالب (مثل المناطق الريفية)، وهي ما تمثل الانعراج الكروي.
JTG5-6	600 MHz - 2 GHz	حتى 1 000 km	مزيج من نماذج الانتشار في الفضاء الطلق وهاتا (Hata) الموسع والتوصية ITU-R P.1546 حسب المسافة بين المرسل والمستقبل. ويتراوح علو الهوائي الأقصى بين 30 m و 200 m، وعلو الهوائي الأدنى بين 1,5 m و 10 m.
لونجلي رايس (Longley Rice) (ITM)	20 MHz - 40 GHz	1 km - 2 000 km	خسارة الإرسال الراديوي عبر التضاريس غير المنتظمة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات الستيمترية (SHF) ويتراوح علو الهوائي بين 0,5 m و 3 000 m.
النموذج C من المعيار IEEE 802.11			الانتشار في النقاط الساخنة الكثيفة بحضور مستخدمين آخرين عبر وصلة الانتشار مما يتسبب في خسارة إضافية بسبب تداخل جسم أو تداخل متعدد المسيرات جراء الانتشار عن الجسم.
الإضافة المساعدة للانتشار	وفق خصوصية النموذج (محدد من المستخدم)	وفق خصوصية النموذج (محدد من المستخدم)	وفق خصوصية النموذج (محدد من المستخدم)

1 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.452

تعريف التوصية ITU-R P.452 إجراء التنبؤ بالتداخل من أجل تقييم خسارة الانتشار المتيسرة على مسيرات الإشارة غير المطلوبة بين المحطات على سطح الأرض عند ترددات تفوق 0,1 GHz تقريباً، مع عدم تجاوز الخسائر خلال نسب مئوية من الوقت تقع ضمن مدى المتراجحة $0,001 \leq p \leq 50\%$ وتصل إلى حد مسافة قدره 10 000 km.

وتعمل النماذج الواردة في التوصية ITU-T R.452 بناء على الافتراض بأن كلاً من مرسل الوصلة المسببة للتداخل والمستقبل المعرض للتداخل يعملان ضمن الطبقة السطحية للغلاف الجوي. ويشمل الإجراء مجموعة إضافية من نماذج الانتشار التي تضمن تغطية كل آليات انتشار التداخل الهامة التي يمكن أن تظهر. وتتوفر طرائق خاصة بتحليل خصائص المسير المتعلقة بالأرصاء الجوية الراديوية وخصائصه الطبوغرافية وهي تمكن من إعداد التنبؤ في أية حالة يقع فيها مسير التداخل عملياً.

وتعتمد خسائر الجلبة في المحطات المسببة للتداخل والمتعرضة للتداخل على العلو وتحدد نماذجها بالتالي بواسطة دالة كسب العلو المقيسة بالنسبة إلى علو الجلبة الاسمي. وتتوفر ارتفاعات اسمية مناسبة من أجل سلسلة من أنماط العوائق. ويطبق التصحيح على كل التنبؤات في الجو الصافي المذكورة في هذه التوصية، أي في كل أساليب الانتشار وكل النسب المئوية من الوقت.

وثمة مشكلة أساسية في التنبؤ بالتداخل (وهي بالفعل مشتركة لكل إجراءات التنبؤ بالانتشار التروبوسفيري)، وهي صعوبة توفير مجموعة موحدة متسقة من الطرائق العملية التي تغطي مدى واسعاً من المسافات ومن النسب المئوية الزمنية، أي في ظروف الجو الفعلي التي تندمج فيها، تدريجياً، إحصائيات هيمنة إحدى الآليات مع آلية أخرى عندما تتغير شروط الأرصاد الجوية و/أو المسير. ويمكن، خاصة في هذه المناطق الانتقالية، أن تأخذ الإشارة سوية معينة لنسبة مئوية كلية من الوقت تمثل مجموع هذه النسب في مختلف الآليات. وكان النهج في هذا الإجراء أن تحدد طرائق منفصلة تماماً للتنبؤ بالتداخل في الجو الصافي وفي الانتشار بالماء الجوي. وتتكون طريقة الجو الصافي من نماذج مختلفة للانعراج والانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات والانتشار التروبوسفيري. وتطبق النماذج الثلاثة كلها في جميع الحالات بغض النظر عما إذا كان المسير في خط البصر أم عبر الأفق. ثم تضم النتائج إلى تنبؤ إجمالي يستخدم تقنية تجمع ما بين مختلف آليات الانتشار وتضمن وصول تعزيز الإشارة في نموذج خط البصر المكافئ النظري إلى أقصى حد ممكن، مهما كانت مسافة المسير أو النسبة المئوية من الوقت.

وترد أدناه مَعْلَمَات نموذج الانتشار هذا:

- (أ) المَعْلَمَات المعتمدة على المسير (الثابت أثناء محاكاة مسير معين) هي:
- تركيز الماء (g/m^3)
 - ضغط السطح (hPa): قيمته المبدئية 1013,25 hPa
 - تدرج معامل الانكسار (N-units/km)
 - حرارة السطح (درجات مئوية): قيمتها المبدئية 15 درجة
 - خط عرض المرسل والمستقبل (بالدرجات)
 - خسارة الجلبة الإضافية عند المرسل والمستقبل (dB)
 - كسب الهوائي عند المرسل والمستقبل (dBi)
 - انكسارية سطح البحر (وحدات N)
 - النسبة المئوية للوقت (%): $0,001 \leq p \leq 50\%$
- (ب) المَعْلَمَات المتغيرة (التي تختلف في كل حدث محاكاة):
- علو هوائي المرسل (فوق الأرض)، (m)
 - علو هوائي المستقبل (فوق الأرض)، (m)
 - التردد (GHz): $0,1 \geq f \geq 50\%$
 - المسافة (km): $d \geq 10\ 000$ km

2 الخسارة على خط البصر الطلق

يصف هذا النموذج أدنى خسارة نظرية يمكن لمسير الانتشار تكبدها في ظروف خط البصر الطلق. والنموذج مناسب للمسيرات التي يمكن فيها توقع الانتشار المباشر دون عوائق على خط البصر (من قبيل وصلات الخدمة الثابتة من نقطة إلى نقطة، والوصلات عبر مسافات قصيرة في مناطق مفتوحة، وما إلى ذلك).

وتُعرف الخسارة على خط البصر الطلق (dB) بما يلي:

$$L = 32.4 + 10 \log \left(d^2 + \left(\frac{h_t - h_r}{1000} \right)^2 \right) + 20 \log(f)$$

حيث:

- f : التردد (MHz)
- h_t : علو هوائي المرسل فوق الأرض (m)
- h_r : علو هوائي المستقبل فوق الأرض (m)
- d : المسافة بين المرسل والمستقبل (km).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق التظليل الموزع اللوغاريتمي العادي بانحراف معياري معين على خسارة المسير المتوسطة المحسوبة على النحو التالي:

$$p_L(f, h_1, h_2, d) = L + T(G(\sigma))$$

حيث:

- L : خسارة المسير المتوسطة (dB)
- σ : الانحراف المعياري لتوزيع الخبو البطيء (dB).

وفي الحالة الخاصة حيث $h_t = h_r$ ، نحصل على خسارة الإرسال في الفضاء الطلق بين نقطتين، على النحو الموصّف في التوصية ITU-R P.525:

$$L[\text{dB}] = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

3 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.528 لخدمات الطيران والخدمات الساتلية

تحتوي التوصية ITU-R P.528 على طريقة للتنبؤ بخسارة الإرسال الأساسية في المدى الترددي 125-15 500 MHz لخدمات الطيران والخدمات الساتلية. وتستخدم هذه الطريقة طريقة استكمال داخلي للبيانات الأساسية لخسارة الإرسال من مجموعات المنحنيات. وتصلح مجموعات المنحنيات هذه لوصلات أرض-جو وأرض-ساتل وجو-ساتل وساتل-ساتل. ولا تلزم بيانات لهذه الطريقة سوى المسافة بين الهوائيات ومرتفعات الهوائيات فوق متوسط مستوى سطح البحر والتردد، والنسبة المئوية من الوقت.

- أدنى علو هوائي (الأرض) فوق متوسط مستوى سطح البحر (m): $1\,500 \geq h_1 \geq m$
- أقصى علو للهوائي (الطيران) فوق متوسط مستوى سطح البحر (m): $20\,000 \geq h_2 \geq m$
- التردد (MHz): $15\,500 \geq f \geq \text{MHz } 125$
- النسبة المئوية للوقت الذي يُطلب فيه التنبؤ (%): $95 \geq p_t \geq 1$
- المسافة (km): $1\,800 \geq d \geq \text{km } 0$.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق التظليل الموزع اللوغاريتمي العادي بانحراف معياري، σ ، معين على خسارة المسير المحسوبة.

4 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.1411

تقترح الفقرة 3.4 من التوصية ITU-R P.1411 نموذج انتشار في نطاق الموجات الديسيمتريّة (من 300 MHz إلى 3 GHz)، لعلو هوائي مرسل ومستقبل يتراوح بين 1,9 m و 3 m، وعلى مسافات تصل إلى 3 000 m. ويسمح هذا النموذج لأداة SEAMCAT باستقصاء السيناريوهات في البيئات الحضرية عندما يكون هوائيا الإرسال والاستقبال كلاهما على علو منخفض، أي يقعان بالقرب من الأرض (من تحت علو السقف إلى مقربة من مستوى الشارع). ويشمل هذا النموذج مناطق خط البصر (LoS) وخلاف خط

البصر (NLoS) على السواء، ويرسم التناقص السريع في سوية الإشارة الملحوظ عند المنعطف بين منطقتي LoS و NLoS. ويحتوي النموذج على إحصاءات عن تعابير الموقع في المنطقتين، ويعطي نموذجاً إحصائياً لمسافة الانعطاف بين المنطقتين LoS و NLoS. وترد أدناه مَعْلَمَات نموذج الانتشار هذا:

- البيئة العامة: مناطق الضواحي، المناطق الحضرية، المناطق الحضرية الكثيفة/ذات المباني المرتفعة
- النسبة المئوية للمواقع $1\% \geq p_s \geq 99\%$
- عرض المنطقة الانتقالية (m): متوسط عرض الشارع 15 m كقيمة نمطية
- التردد (MHz): $300 \text{ MHz} \leq f \leq 3000 \text{ MHz}$
- علو هوائي المرسل (m) $1,9 \text{ m} \leq h_t \leq 3 \text{ m}$
- علو هوائي المستقبل (m) $1,9 \text{ m} \leq h_r \leq 3 \text{ m}$
- المسافة (km): $3 \text{ km} \geq d$.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق التظليل الموزع اللوغاريتمي العادي بانحراف معياري، σ ، معين على خسارة المسير المحسوبة.

5 نموذج الانتشار الموجات المترية (VHF)/الموجات الديسيمترية (UHF) (التوصية ITU-R P.1546)

تقترح التوصية ITU-R P.1546 نموذج انتشار للتنبؤ بشدة المجال من نقطة إلى منطقة للإذاعة أساساً، ولكن أيضاً للخدمات البرية المتنقلة والبحرية المتنقلة وبعض الخدمات الثابتة (مثل تلك التي تستخدم أنظمة من نقطة إلى عدة نقاط) في المدى الترددي من 30 MHz إلى 3000 MHz وعلى مسافات تصل إلى 1000 km. لاستخدام تحليل سيناريوهات التوافق، تُفترض التبسيطات التالية:

- تضاريس مستوية.
- حصر الانتشار فوق البر فقط، أي استبعاد المسيرات المختلطة والبحرية.
- قيم موجبة فقط لعلو الهوائي.

وترد أدناه مَعْلَمَات نموذج الانتشار هذا:

أ) المَعْلَمَات المعتمدة على المسير (الثابت أثناء محاكاة مسير معين) هي:

- النسبة المئوية للوقت (%): $1\% \geq p_t \geq 50\%$ ، وفي $p_t > 50\%$ تُضبط بنسبة 50%
- نظام الإرسال: تماثلي/رقمي
- عرض نطاق المرسل: B_t
- البيئة الشاملة: ريفية وضواحي وحضرية.

ب) المَعْلَمَات المتغيرة (التي تختلف في كل حدث محاكاة):

- العلو الفعال لهوائي المرسل (m): $0 \text{ m} \leq h_t \leq 3000 \text{ m}$
- علو هوائي المستقبل (فوق الأرض)، (m): $1 \text{ m} \leq h_r \leq 3000 \text{ m}$
- التردد (MHz): $30 \text{ MHz} \leq f \leq 3000 \text{ MHz}$
- المسافة (km): $0,001 \text{ km} \leq d \leq 1000 \text{ km}$

وترد منحنيات الانتشار المشتقة للإذاعة في التوصية ITU-R P.1546، التي تستند إلى التوصية ITU-R P.370 السابقة: مجموعة شدة المجال المستقبلية، E (dB(μ V/m))، المقیسة على قدرة إرسال 1 kW e.r.p. وباستخدام التحويل الوارد في التوصية ITU-R P.525، يمكن تحويل مستوى شدة المجال هذا إلى متوسط خسارة المسير الراديوي الأساسية (dB) بين هوائيين متناحيين بواسطة المعادلة التالية:

$$L(p_r, p_t) = 139.4 + 20 \log f [\text{MHz}] - E(f, d, h_t, h_r, p_t, p_r, env)$$

حيث:

p_t : 50% من المواقع

env : مختلف أنواع البيئات: البرية (المستخدمة في أداة SEAMCAT)، البحرية الباردة أو الدافئة.

علماً بأن خسارة المسير ينبغي ألا تقل عن خسارة المسير في الفضاء الطلق.

وتمكن الإشارة إلى خسارة المسير، p_L ، بما في ذلك تغير المواقع كمجموع خسارة المسير المتوسطة وتوزع غوسي:

$$p_L = L(p_t, p_l = 50\%) + T(G(\sigma))$$

6 نموذج هاتا (Hata) الموسع

يحسب نموذج هاتا (Hata) الموسع خسارة الانتشار بين المرسل والمستقبل على النحو التالي:

$$p_L(f, h_1, h_2, d, env) = L + T(G(\sigma))$$

حيث:

L : خسارة الانتشار المتوسطة (dB)

σ : الانحراف المعياري لتوزع الخبو البطيء (dB)

f : التردد (MHz)

h_1 : علو هوائي المرسل فوق الأرض (m)

h_2 : علو هوائي المستقبل فوق الأرض (m)

d : المسافة بين المرسل والمستقبل (km)، ويفضل أن تقل عن 100 km

env : (داخل المباني/ في الخلاء)، (ريفية أو حضرية أو ضواحي)، (الانتشار فوق أو تحت السقف).

ويتيح التعريف التالي:

H_m : $\min\{h_1, h_2\}$

H_b : $\max\{h_1, h_2\}$

استخدام هذا النموذج بشكل تبادلي. وإذا قل العلو H_m و/أو H_b عن 1 m، ينبغي استخدام قيمة 1 m بدلاً من ذلك. ويمكن أيضاً أن تؤدي زيادة علو الهوائي عن 200 m إلى أخطاء كبيرة. والانتشار تحت السقف يعني أن العلو H_m والعلو H_b كليهما يقعان تحت علو الأسقف. أما الانتشار فوق السقف في حالات أخرى فهو يعني أن العلو H_b يقع فوق علو الأسقف).

1.6 حساب خسارة المسير المتوسطة L

الحالة 1: $d \leq 0,04 \text{ km}$

$$L = 32.4 + 20 \log(f) + 10 \log(d^2 + (H_b - H_m)^2 / 10^6)$$

الحالة 2: $d \geq 0,1 \text{ km}$

$$a(H_m) = (1.1 \log(f) - 0.7) \min\{10, H_m\} - (1.56 \log(f) - 0.8) + \max\{0, 20 \log(H_m/10)\}$$

$$b(H_b) = \min\{0, 20 \log(H_b/30)\}$$

علماء بأن فيما يخص الأجهزة قصيرة المدى بحال انخفاض علو هوائي محطة القاعدة، H_b ، يستعاض عن $b(H_b) = \min\{0, 20 \log(H_b/30)\}$ بالصيغة التالية:

$$b(H_b) = (1.1 \log(f) - 0.7) \min\{10, H_b\} - (1.56 \log(f) - 0.8) + \max\{0, 20 \log(H_b/10)\}$$

وتفترض الصيغة أعلاه أن قيم علو الهوائي ينبغي ألا تقع خارج الفاصل 3-1,5 m.

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{for } d \leq 20 \text{ km} \\ 1 + \left(0.14 + 1.87 \times 10^{-4} f + 1.07 \times 10^{-3} H_b\right) \left(\log \frac{d}{20}\right)^{0.8} & \text{for } 20 \text{ km} < d \leq 100 \text{ km} \end{cases}$$

الحالة 1 الفرعية: حضرية

MHz 150 $\geq f >$ MHz 30

$$L = 69.6 + 26.2 \log(150) - 20 \log(150/f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) +$$

$$[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})] \log(d)^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$$

MHz 1 500 $\geq f >$ MHz 150

$$L = 69.6 + 26.2 \log(f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) +$$

$$[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})] \log(d)^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$$

MHz 2 000 $\geq f >$ MHz 1 500

$$L = 46.3 + 33.9 \log(f) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) +$$

$$[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})] \log(d)^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$$

MHz 3 000 $\geq f >$ MHz 2 000

$$L = 46.3 + 33.9 \log(2000) + 10 \log(f/2000) - 13.82 \log(\max\{30, H_b\}) +$$

$$[44.9 - 6.55 \log(\max\{30, H_b\})] \log(d)^\alpha - a(H_m) - b(H_b)$$

الحالة 2 الفرعية: ضواحي

$$L = L(\text{urban}) - 2 \left\{ \log \left[\frac{\min\{\max\{150, f\}, 2000\}}{28} \right] \right\}^2 - 5.4$$

الحالة 3 الفرعية: منطقة مفتوحة

$$L = L(\text{urban}) - 4.78 \left\{ \log \left[\min\{\max\{150, f\}, 2000\} \right] \right\}^2 + 18.33 \log \left[\min\{\max\{150, f\}, 2000\} \right] - 40.94$$

الحالة 3 $\text{km } 0,1 > d > \text{km } 0,04$

$$L = L(0.04) + \frac{[\log(d) - \log(0.04)]}{[\log(0.1) - \log(0.04)]} [L(0.1) - L(0.04)]$$

وعندما تقل L عن التوهين في الفضاء الطلق للمسافة نفسها، يُستخدم التوهين في الفضاء الطلق بدلاً منها.

2.6 تقييم الانحراف المعياري للتوزيع اللوغاريتمي العادي

		km 0,04 ≥ d	الحالة 1:
		dB 3,5 = σ	
		km 0,1 ≥ d > km 0,04	الحالة 2:
لانتشار فوق الأسقف	dB	$\sigma = 3.5 + \frac{(12 - 3.5)}{(0.1 - 0.04)} (d - 0.04)$	
لانتشار تحت الأسقف	dB	$\sigma = 3.5 + \frac{(17 - 3.5)}{(0.1 - 0.04)} (d - 0.04)$	
		km 0,2 ≥ d > km 0,1	الحالة 3:
لانتشار فوق الأسقف	dB	12 = σ	
لانتشار تحت الأسقف	dB	17 = σ	
		km 0,6 ≥ d > km 0,2	الحالة 4:
لانتشار فوق الأسقف	dB	$\sigma = 12 + \frac{(9 - 12)}{(0.6 - 0.2)} (d - 0.2)$	
لانتشار تحت الأسقف	dB	$\sigma = 17 + \frac{(9 - 17)}{(0.6 - 0.2)} (d - 0.2)$	
		d > km 0,6	الحالة 5:
		dB 9 = σ	

7 نموذج الانعراج الكروي

يستند نموذج الانتشار الكروي إلى التوصيات ITU-R P.452 و ITU-R P.676 و ITU R P.526⁴. ووفقاً للتوصية ITU-R P.452، تُعطى الخسارة المتوسطة بين المرسل والمستقبل بالمعادلة التالية:

$$L_{bd}(p) = 92.5 + 20 \log f + 20 \log d + L_d(p) + A_g$$

حيث:

$L_{bd}(p)$: الخسارة الأساسية (dB) كدالة للنسبة المئوية من الوقت، P (%)

f : التردد (GHz)

d : المسافة (km)

$L_d(p)$: خسارة الانعراج (dB) كدالة للنسبة المئوية من الوقت، P (%)

A_g : التوهين بسبب غاز وماء الغلاف الجوي (dB).

ويُعطى التوهين بسبب الغلاف الجوي بواسطة:

⁴ يستند التوثيق المستخدم إلى وثائق منشورة في فترة الأعوام 1990-1994. وفي الوقت نفسه، تتوفر توصيات أحدث. وللأسف نُقلت بعض المعلومات المفيدة إلى التقارير أو التوصيات الأخرى.

$$A_g = [\gamma_o(f) + \gamma_w(\rho, f)]d$$

حيث:

$\gamma_o(f)$: التوهين الخطي بسبب الهواء الجاف (الأكسجين) (dB/km)

$\gamma_w(\rho, f)$: التوهين الخطي (dB/km)، بسبب الماء كدالة لتركيز الماء ρ (g/m^3)، وقيمته المبدئية: 3 g/m^3 .

ويمكن تقريب كلا التوهينين بالمعادلات التالية وفقاً للتوصية ITU R P.676:

– التوهين بسبب الماء:

$$\gamma_w(\rho, f) = \left[0.050 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f - 183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f - 325.4)^2 + 26.3} \right] f^2 \rho \times 10^{-4} \quad \text{for } f < 350 \text{ GHz}$$

– التوهين بسبب الأكسجين:

$$\gamma_o(f) = \left[7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.50} \right] f^2 \times 10^{-3} \quad \text{for } f \leq 57 \text{ GHz}$$

$$\gamma_o(f) = 10.5 + 1.5(f - 57) \quad \text{for } 57 < f \leq 60 \text{ GHz}$$

$$\gamma_o(f) = 15 - 1.2(f - 60) \quad \text{for } 60 < f \leq 63 \text{ GHz}$$

$$\gamma_o(f) = \left[3.79 \times 10^{-7} f + \frac{0.265}{(f - 63)^2 + 1.59} + \frac{0.028}{(f - 118)^2 + 1.47} \right] (f + 198)^2 \times 10^{-3} \quad \text{for } f > 63 \text{ GHz}$$

علماء بأن استكمالاً داخلياً خطياً يُستخدم للتبسيط بين 57 و63 GHz. والتوهين الأقصى هو 15 dB/km على التردد 60 GHz. ووفقاً للتوصية ITU-R P.526، يمكن اشتقاق خسارة الانعراج، $L_d(p)$ ، من شدة المجال المستقبلية، E ، المشار إليها في الفضاء الطلق، E_0 :

$$-L_d(p) = 20 \log \frac{E}{E_0} = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2)$$

حيث:

X : المسير الراديوي المقيس بين المرسل والمستقبل

Y_1 : علو هوائي المرسل المقيس

Y_2 : علو هوائي المستقبل المقيس:

$$X = 2.2 \beta f^{1/3} a_e^{-2/3} d$$

$$Y = 9.6 \times 10^{-3} \beta f^{2/3} a_e^{-1/3} h_i$$

حيث:

β : معلمة مشتقة من عامل سماحية الأرض K : $\beta = 1$ من أجل $f < 20 \text{ MHz}$

f : التردد (MHz)

a_e : نصف قطر الأرض المكافئ (km) (انظر التعريف أدناه)

d : المسافة (km)

h_i : علو الهوائي فوق الأرض (m) حيث $i = 1$ أو 2 للمرسل أو المستقبل، على التوالي.

ويعبر عن الحد المعتمد على المسافة $F(X)$ بالصيغة شبه التجريبية:

$$F(X) = 11 + 10 \log(X) - 17.6X$$

ويحصل كسب علو الهوائي $G(Y)$ من خلال مجموعة الصيغ التالية:

$$\begin{aligned} G(Y) &= 17.6(Y - 1.1)^{1/2} - 5 \log(Y - 1.1) - 8 & \text{for } Y &\geq 2 \\ G(Y) &= 20 \log(Y + 0.1Y^3) & \text{for } 10 K &\leq Y < 2 \\ G(Y) &= 2 + 20 \log K + 9 \log(Y/K) [\log(Y/K) + 1] & \text{for } K/10 &\leq Y < 10 K \\ G(Y) &= 2 + 20 \log K & \text{for } Y &< K/10 \end{aligned}$$

حيث:

K : عامل سماحية سطح الأرض المقيس (انظر التوصية ITU-R P.526)، القيمة المبدئية: 10⁻⁵.

علماً بأن وحدات مختلفة تُستخدم للتردد.

ويقدّم الاختلاف في خسارة المسير من خلال تغيّر نصف قطر الأرض المكافئ، a_e (km) الذي يعتمد على النسبة المئوية للوقت p :

$$a_e(p) = 6375 k(p)$$

ويعبر عن عامل نصف قطر الأرض $k(p)$ كما يلي:

$$k(p) = k_{50} + (5 - k_{50}) \frac{(1.7 - \log p)}{(1.7 - \log \beta_0)} \quad \text{for } p < 50\%$$

$$k(p) = k_{50} \quad \text{for } p > 50\%$$

و

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N}$$

حيث:

ΔN : متوسط تدرج البيانات الوصفية للانكسار الراديوي على طبقة 1 km من الغلاف الجوي من السطح. والقيمة المبدئية هي 40 N-units/km لأوروبا (الغلاف الجوي المعياري). وتؤدي هذه القيمة إلى $k_{50} \approx 4/3$ و $a_e = 8500$ km.

الملاحظة 1 - متوسط التدرج موجب.

β_0 : احتمال وجود (%) طبقة فائقة الانكسار ($\Delta N > 100$ N-units/km) في الغلاف الجوي المنخفض. القيمة المبدئية: 1% لأوروبا.

علماً بأن الاحتمالين p و β_0 يُرمز إليهما بنسبة مئوية %، أي بمدى التنوع: 0 ... 100%.

وعلماً بأن القيمة المبدئية $p = 50\%$ تُختار كقيمة ثابتة. وتسمح النسب المئوية الزمنية الصغيرة بمحاكاة ظروف الانتشار الشاذة.

وتتعين مراعاة القيود التالية لتطبيق هذا النموذج:

- ينبغي أن يزيد المدى الترددي عن 3 GHz، مع توخي الحذر في استخدام الترددات الأدنى على ألا تقل عن 300 MHz بسبب مؤثرات سماحية السطح والاستقطاب.
- أعد هذا النموذج للمناطق المفتوحة (الريفية). لذلك، لا يُدرج التوهين الإضافي بسبب عوائق مثل المباني الموجودة في الضواحي أو البيئة الحضرية.

- الخسارة بسبب المطر غير مغطاة.
- لا ينطبق هذا النموذج إلا على المسيرات الراديوية للأرض.

8 نماذج انتشار داخل المباني وفي الخلاء معاً

يُشتق معظم نماذج الانتشار المنشورة إما للتطبيق في الخلاء أو داخل المباني. ولكن في "العالم الحقيقي"، يلزم الجمع بين كلا النوعين. وفي السيناريوهات المدججة، يُجمع بين نماذج هاتا (Hata) الكلاسيكية للخلاء (النسخة الموسعة، انظر الفقرة 2) ونموذج الانعراج الكروي (التوصيات ITU-R P.452 و ITU-R P.526 و ITU-R P.676) وبين نموذج لداخل المباني. ويرد وصف توضيحي في ما يلي. وتتكون خسارة المسير p_L من متوسط خسارة المسير L والتغير الغوسي $T(G(\sigma))$ حيث σ هو الانحراف المعياري:

$$p_L(f, h_1, h_2, d, env) = L + T(G(\sigma))$$

حيث:

f : التردد (MHz)

h_1 : علو هوائي المرسل (m)

h_2 : علو هوائي المستقبل (m)

d : المسافة (km)

env : معلمة لبيئتي المرسل والمستقبل

وفيما يتعلق بالانتشار بين الخلاء والخلاء، يسري ما يلي:

- سيناريو: المرسل والمستقبل في الخلاء معاً
- نموذج هاتا الموسع:

المتوسط: L (بين الخلاء والخلاء) = L_{Hata} (بين الخلاء والخلاء)

التغير: التغير النوعي، σ (بين الخلاء والخلاء) = σ_{Hata}

- نموذج الانعراج الكروي:

المتوسط: L (بين الخلاء والخلاء) = $L_{spherical}$

التغير: التغير متعذر: σ (بين الخلاء والخلاء) = 0

الحالة 1: من داخل المباني إلى الخلاء أو من الخلاء إلى داخل المباني

- سيناريو: المرسل داخل المباني والمستقبل في الخلاء، أو بالعكس
- نموذج هاتا الموسع:

المتوسط: L (من داخل المباني إلى الخلاء) = L_{Hata} (بين الخلاء والخلاء) + L_{we}

حيث L_{we} هو التوهين بسبب الجدران الخارجية (القيمة المبدئية = 10 dB).

التغير: σ (من داخل المباني إلى الخلاء) = $\sqrt{\sigma_{Hata}^2 + \sigma_{add}^2}$

حيث σ_{add} هو الانحراف المعياري الإضافي للإشارة، وهو عادةً الانحراف المعياري للخسارة بسبب الجدران على جانب المرسل σ_{Tx}^{wall} أو المستقبل σ_{Rx}^{wall} (القيمة المبدئية: 5 dB).

ويزاد الانحراف المعياري للتوزيع اللوغاريتمي العادي، مقارنةً بسيناريو الانتشار بين الخلاء والخلاء بسبب عدم اليقين الإضافي بشأن المواد والموقع النسبي في المبنى.

- نموذج الانعراج الكروي

$$L_{\text{متوسط}} = L \text{ (من داخل المباني إلى الخلاء)}$$

$$\sigma_{\text{التغير}} = \sigma \text{ (من داخل المباني إلى الخلاء)}$$

ويتحدد التوزيع اللوغاريتمي العادي بالتغير الإضافي بسبب التغير في مواد البناء، وبالنسبة لنموذج الانعراج الكروي لا يُنظر في أي تغير.

الحالة 2: من داخل المباني إلى داخل المباني

هناك سيناريوهان مختلفان محتملان: وجود المرسل والمستقبل في نفس المبنى أو في مبان مختلفة. ويُختار السيناريو المستخدم بشكل عشوائي.

(أ) اختيار السيناريو

تتمثل الخطوة الأولى في تحديد ما إذا كان سيناريو من داخل المباني إلى داخل المباني يتوافق مع وجود المرسل والمستقبل في نفس المبنى أم لا. ويتحقق ذلك لحساب المتغير العشوائي في نفس المبنى (SB).

تجري شرط نفس المبنى (SB):

$$1 = P(\text{نعم}) \leq \text{SB} \text{ نعم} : d \geq 0,020 \text{ km} (20 \text{ m})$$

$$: d > 0,020 \text{ km} \geq 0,050 \text{ km} (50 \text{ m})$$

$$\text{SB} = P(\text{نعم}) = 0,030 / (d - 0,050)$$

$$\text{SB} = \text{لا} \quad P(\text{لا}) = 1 - P(\text{نعم}) = 0,030 / (0,020 - d)$$

$$0 = P(\text{نعم}) \leq \text{SB} \text{ لا} : d < 0,050 \text{ km} (50 \text{ m})$$

(ب) من داخل المباني إلى داخل المباني، في مبان مختلفة

- السيناريو: وجود المرسل والمستقبل في مبنين مختلفين: $P(\text{نعم}) = 0$ أو $P(\text{لا}) = 1$

- نموذج هاتا الموسع:

$$L_{\text{متوسط}} = L \text{ (من داخل المباني إلى داخل المباني)} = L_{\text{Hata}} \text{ (بين الخلاء والخلاء)} + 2L_{\text{we}}$$

علماً بأن الخسارة الناتجة عن جدارين خارجيين ينبغي أن تضاف.

$$\sigma_{\text{التغير}} = \sigma \text{ (من داخل المباني إلى داخل المباني)} = \sqrt{\sigma_{\text{Hata}}^2 + \sigma_{\text{add}}^2}$$

حيث σ_{add} هو الانحراف المعياري الإضافي للإشارة كما يعطي على النحو التالي:

$$\sigma_{\text{add}} = \sqrt{\left(\sigma_{\text{Tx}}^{\text{wall}}\right)^2 + \left(\sigma_{\text{Rx}}^{\text{wall}}\right)^2}$$

حيث $\sigma_{\text{Tx}}^{\text{wall}}$ و $\sigma_{\text{Rx}}^{\text{wall}}$ هما الانحراف المعياري لخسارة الجدار على جانبي المرسل والمستقبل، على التوالي.

- نموذج الانعراج الكروي

$$L_{\text{متوسط}} = L \text{ (من داخل المباني إلى داخل المباني)} = L_{\text{spherical}} + 2L_{\text{we}}$$

$$\sigma_{\text{التغير}} = \sigma \text{ (من داخل المباني إلى داخل المباني)} = \sqrt{2}\sigma_{\text{add}}$$

ويتحدد التوزيع اللوغاريتمي العادي بالتغير الإضافي بسبب التغير في مواد البناء، وبالنسبة لنموذج الانعراج الكروي لا يُنظر في أي تغير. ويزاد التغير للجدار الخارجي الثاني.

(ج) من داخل المباني إلى داخل المباني، في نفس المبنى

- السيناريو: وجود المرسل والمستقبل في نفس المبنى: P (نعم) = 1 أو P (لا) = 0

- نموذج الانتشار داخل المباني:

المتوسط:

$$L(\text{indoor} - \text{indoor}) = -27.6 + 20 \log(1000d) + 20 \log(f) + \text{fix} \left(\frac{1000d}{d_{\text{room}}} \right) L_{wi} + k_f \left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right] L_f$$

$$k_f = \text{fix} \left(\frac{|h_2 - h_1|}{h_{\text{floor}}} \right) \quad \text{حيث:}$$

L_{wi} : خسارة الجدار الداخلي (dB) القيمة المبدئية = 5 dB

L_f : الخسارة بين الطوابق المتجاورة (dB) القيمة المبدئية = 18,3 dB

b : المعلمة التجريبية القيمة المبدئية = 0,46

d_{room} : مقياس الغرفة (m) القيمة المبدئية = 4 m

h_{floor} : علو كل طابق (m) القيمة المبدئية = 3 m

$\text{fix}(x)$: للقيم الحقيقية الموجبة x ، أكبر عدد صحيح أقل من أو يساوي x .

علماً بأن طول المسير d يستخدم وحدة km والتردد يستخدم وحدة MHz.

التغير: σ (من داخل المباني إلى داخل المباني) $\sigma_{in} = 10$ dB.

تجرى تجربة التوزيع اللوغاريتمي العادي باستخدام انحراف معياري يدخله المستخدم ويغطي التغير، الداخلي في المبنى، بسبب تصميم المبنى، أو أثاث الغرف، وما إلى ذلك. والقيمة المبدئية هي $\sigma_{in} = 10$ dB.

9 نموذج الانتشار لدى الفريق التقني المشترك 5-6 (JTG 5-6)

وضع الفريق التقني المشترك 5-6 (JTG 5-6) (<http://www.itu.int/md/R07-JTG5.6-C/en>) نموذج الانتشار هذا، وهو يجمع بين نماذج الانتشار في الفضاء الطلق و Hata الموسع والتوصية ITU-R P.1546 حسب المسافة بين المرسل والمستقبل.

وترد أدناه مَعْلَمَات نموذج الانتشار هذا:

(أ) المَعْلَمَات المعتمدة على المسير (الثابت أثناء محاكاة مسير معين) هي:

- احتمالات الوقت (%): $p_t = 1\%$ أو $p_t = 50\%$

- مسافة القطع (m): $d_{cut} > 100$ m

- علو الجلبة المحلية (m): R_{clut}

- البيئة الشاملة: ريفية وضواحي وحضرية.

(ب) المَعْلَمَات المتغيرة (التي تختلف في كل حدث محاكاة):

- علو هوائي المرسل (m): $30 \leq h_t \leq 200$ m

- علو هوائي المستقبل (m): $1,5 \leq h_r \leq 10$ m

- التردد (MHz): $600 \leq f \leq 2000$ MHz

- المسافة (km): $d \geq 1000$ km.

علماً بأن خسارة المسير ينبغي ألا تقل عن خسارة المسير في الفضاء الطلق. ولا يُنظر إلا في سيناريوهات بين الخلاء والخلاء وتمكن الإشارة إلى خسارة المسير، p_L ، بما في ذلك تأثير التظليل، كمجموع خسارة المسير المتوسطة، L ، وتوزع غوسي:

$$p_L = L + T(G(\sigma))$$

حيث ينمذج الانحراف المعياري، σ ، تأثير التغيير:

$$R_{clut} < h_r \quad \sigma = 5.5 \text{ dB} \quad -$$

$$R_{clut} < h_t \text{ و } R_{clut} > h \quad \sigma = 7 \text{ dB} \quad -$$

10 نموذج انتشار Longley Rice (ITM)

وُضع نموذج انتشار Longley-Rice، والمعروف أيضاً باسم نموذج التضاريس غير المنتظمة (ITM)، لتقدير خسارة الإرسال الراديوي عبر التضاريس غير المنتظمة في النطاقات الترددية للموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات الستيمترية (SHF). ويعتمد حساب خسارة الإشارة على النظرية الكهرمغناطيسية وعلى التحليلات الإحصائية. وقد تُتم بالاعتمادات التجريبية، أثناء الاختبارات والقياسات. ويفترض التنفيذ أسلوب الانتشار في منطقة (أي لا حاجة لتفاصيل المظهر الجانبي للتضاريس لإجراء حساب خسارة المسير). وينتج هذا النموذج التوهين المتوسط المتوقع لإشارة راديوية حسب التضاريس الإحصائية والنظام ومعلومات المناخ الراديوي، ويأخذ في الاعتبار تغير الإشارة مع تغير الوقت والمكان بمستوى معين من الثقة.

وترد أدناه مَعْلَمَات نموذج الانتشار هذا:

(أ) المَعْلَمَات المعتمدة على المسير (الثابت أثناء محاكاة مسير معين) هي:

- رمز المناخ الراديوي: استوائي، قاري شبه استوائي، بحري شبه استوائي، صحراوي، قاري معتدل، معتدل بحري على اليابسة، معتدل بحري فوق البحر.

- متوسط الانكسار السطحي أو الانكسارية الأرضية (وحدات-N): استوائي (360)، قاري شبه استوائي (320)، بحري شبه استوائي (370)، صحراوي (280)، معتدل قاري (301)، معتدل بحري على اليابسة (320)، بحري معتدل فوق البحر (350).

- معلمة عدم انتظام التضاريس (m): أراض مسطحة (0 m)، سهول (30 m)، تلال (90 m)، جبال (200 m)، جبال وعرة (500 m).

- الإيصالية الكهربائية الأرضية (S/m): متوسط الأرض (0,005 S/m)، الأرض الرديئة (0,001 S/m)، الأرض الجيدة (0,02 S/m)، المياه العذبة (0,01 S/m)، مياه البحر (5 S/m).

- قابلية التمرير النسبية: متوسط الأرض (15)، الأرض الرديئة (4)، الأرض الجيدة (25)، المياه العذبة (81)، مياه البحر (81).

- الاستقطاب: أفقي أو رأسي.

- معايير الموقع: عشوائي، دقيق، أو دقيق للغاية.

- توفر الوقت (%): 1-99%.

- توفر الموقع (%): 1-99%.

- مستوى الثقة (%): 1-99%.

(ب) المَعْلَمَات المتغيرة (التي تختلف في كل حدث محاكاة):

- التردد (MHz): $20 \text{ MHz} \leq f \leq 40 \text{ 000 MHz}$.

- علو هوائي المرسل (m): $h_t \geq 0,5 \text{ m}$ و $h_t \leq 3000 \text{ m}$.
- علو هوائي المستقبل (m): $h_r \geq 0,5 \text{ m}$ و $h_r \leq 3000 \text{ m}$.
- المسافة (km): $d \geq 1 \text{ km}$ و $d \leq 2000 \text{ km}$.

11 نموذج الانتشار C من المعيار IEEE 802.11

يمكن أن يتسبب وجود المستخدمين عبر وصلة الانتشار بين المرسل والمستقبل في خسارة إضافية، نتيجة لخسارة ناجمة عن الجسم أو تداخل متعدد المسيرات بسبب الانتشار عن الجسم. وفي الظروف التي تعلق فيها الكثافة المكانية للمستخدمين المتنقلين (أو المطاريف المتنقلة)، يعلو احتمال حجب المسير أيضاً، وبالتالي تتعذر معالجة المسير من مطراف إلى مطراف على أنه خط بصر. وبناءً على ذلك، يكون نموذج خسارة المسير ذو الأس الأكبر من أس نموذج خسارة المسير في الفضاء الطلق نموذجاً أنسب لتوصيف الوصلات من مطراف إلى مطراف في النقاط الساخنة الكثيفة. وفي نموذج الانتشار هذا، يتميز متوسط خسارة المسير بنموذج مزدوج الانحدار ذي نقطة انقطاع على مسافة d_{bp} . ويُستخدم نموذج الانتشار في الفضاء الطلق (ذو الأس 2,0) للمسافات الأصغر من d_{bp} ، بينما يطبق الأس 3,5 للمسافات الأطول:

$$L(d) = \begin{cases} L_{fs}(d), & d < d_{bp} \\ L_{fs}(d_{bp}) + 35 \log\left(\frac{d}{d_{bp}}\right), & d \geq d_{bp} \end{cases}$$

وتعرّف خسارة مسير الفضاء الطلق L_{fs} المعرّفة على أنها:

$$L_{fs} = 32.4 + 10 \log\left(d^2 + \left(\frac{h_t - h_r}{1000}\right)^2\right) + 20 \log(f)$$

حيث:

- f : التردد (MHz)
- h_t : علو هوائي المرسل فوق الأرض (m)
- h_r : علو هوائي المستقبل فوق الأرض (m)
- d : المسافة بين المرسل والمستقبل (km)
- d_{bp} : مسافة نقطة الانقطاع عن المرسل (km).

بالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق التظليل الموزع اللوغاريتمي العادي بانحراف معياري معين على خسارة المسير المتوسطة المحسوبة. وعندما تقل خسارة المسير المحسوبة عن التوهين في الفضاء الطلق للمسافة نفسها، يُستخدم التوهين في الفضاء الطلق بدلاً منها. ويُستخدم نموذج الانتشار هذا لحساب التداخل من مطراف إلى مطراف، وهو يحدد خسائر التظليل الناتجة عن كائنات بين المطرافين، ولكنه لا يفسر صراحةً أي خسارة من كائنات في المجال القريب، مثل الشخص الذي يحمل المعدات.

المرفق 2 بالملاحق 2

دالة التحكم في القدرة

$$g_{ILT}^{PC} = f_{pc}(p_{ILT}^{supplied}, g_{ILT \rightarrow ILR}, pl_{ILT \leftrightarrow ILR}, g_{ILR \rightarrow ILT}, pc_{ILT}^{t_hold}, pc_{ILT}^{dyc_rg}, pc_{ILT}^{st_rg})$$

$$P = f(p_{ILT}^{supplied}, g_{ILT \rightarrow ILR}, pl_{ILT \leftrightarrow ILR}, g_{ILR \rightarrow ILT}) = p_{ILT}^{supplied} + g_{ILT \rightarrow ILR} - pl_{ILT \leftrightarrow ILR} + g_{ILR \rightarrow ILT}$$

P : القدرة التي يستقبلها مستقبل وصلة مسببة للتداخل، مثل أقرب محطة قاعدة لنظام مسبب للتداخل

حيث يرد تعريف $g_{ILT \rightarrow ILR}$ ، $g_{ILR \rightarrow ILT}$ و $p_{ILT}^{supplied}$ في أقسام حساب $iRSS$. و $p_{ILT}^{t_hold}$ هي العتبة الدنيا (الحد الأدنى) للمستقبل.

$$P \leq pc_{ILT}^{t_hold} \quad \text{الحالة 1:}$$

$$p_{ILT}^{supplied_PC} = p_{ILT}^{supplied}$$

$$g_{ILT}^{PC} = 0$$

$$pc_{ILT}^{t_hold} + (i-1) \cdot pc_{ILT}^{st_rg} \leq P < pc_{ILT}^{t_hold} + i \cdot pc_{ILT}^{st_rg} \quad \text{حالة (i+1):}$$

$$p_{ILT}^{supplied_PC} = p_{ILT}^{supplied} - (i-1) \cdot pc_{ILT}^{st_rg}$$

$$g_{ILT}^{PC} = -(i-1) \cdot pc_{ILT}^{st_rg}$$

$$\frac{pc_{ILT}^{dyc_rg}}{pc_{ILT}^{st_rg}} = \text{حيث } i \text{ هو عدد صحيح يتراوح بين 1 و } n \text{ من الخطوات}$$

$$P > pc_{ILT}^{t_hold} + pc_{ILT}^{dyc_rg} \quad \text{حالة (n_steps + 2):}$$

$$p_{ILT}^{supplied_PC} = p_{ILT}^{supplied} - pc_{ILT}^{dyc_rg}$$

$$g_{ILT}^{PC} = -pc_{ILT}^{dyc_rg}$$

المرفق 3 بالملاحق 2

تعريف التوزيع

$$U(0,1) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{التوزيع المنتظم:} \quad -$$

$$G(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{التوزيع الغوسي:} \quad -$$

$$R(\sigma) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{توزيع رايلي:} \quad -$$

التوزيع المعرف من المستخدم: ينبغي مراعاة خيار تضمين توزيع معرف من المستخدم في الأداة. -

التوزيع المنفصل: -

هذا توزيع خاص يحده حد أدنى، X_{min} ، وحد أعلى، X_{max} ، والخطوة، S ، بين العينات، x_i . ومن الأمثلة الشائعة لمثل هذا التوزيع توزيع الترددات المنفصل الذي يحتوي على تباعد ثابت للقنوات. عندئذ يعرف التوزيع المقابل للعينات x_i بالمعادلة التالية:

$$x_i = X_{min} + S/2 + (i-1)S$$

حيث:

$$i = 1 \dots N$$

$$N = (X_{max} - X_{min}) / S$$

وفي حالة التوزيع المنتظم، تخصص كل قيمة لنفس الاحتمال $P(x_i) = 1/N$. وفي حالة التوزيع غير المنتظم، تخصص كل قيمة لترجيح معين P_i بقيد يجعل مجموع هذه الترجيحات يساوي واحداً.

المرفق 4 بالملاحق 2

إنشاء الأعداد شبه العشوائية

[نوٲ، 1969؛ روبنشٲاين، 1981]

- من التوزع المنتظم $U(0, 1)$

$$u_{i+1} = T(U(0, 1)) = \frac{x_{i+1}}{m}$$

حيٲ:

$$x_{i+1} = (a \cdot x_i) \pmod{m}$$

a : مضاعف من قبيل $a = 16807$ أو 396204094 أو 950706376

m : مُعامل، من قبيل $m = 2^{31} - 1 = 2147483647$

x_0 : متجه، متغير بشكل عدد صحيح يتخذ قيمة تتراوح بين 1 و $(m-1)$.

- ومن التوزع الغوسي $G(\sigma)$

$$T(G(\sigma)) = v_1 \sqrt{\frac{-2 \ln(s)}{s}}$$

حيٲ:

$$d_0 \begin{cases} v_1 = 2 \cdot T_{seed1}(U(0, 1)) - 1 \\ v_2 = 2 \cdot T_{seed2}(U(0, 1)) - 1 \\ s = v_1^2 + v_2^2 \end{cases} \text{ في حال } s \geq 1$$

v_1 و v_2 هما متغيران عشوائيان مستقلان (يستخدمان متجهين مختلفين) ويتوزعان بانتظام بين -1 و 1.

- ومن توزع رايلي $R(\sigma)$

$$T(R(\sigma)) = \sqrt{\left(v_1^2 + v_2^2\right) \times \frac{-2 \ln(s)}{s}}$$

حيٲ:

$$d_0 \begin{cases} v_1 = 2 \cdot T_{seed1}(U(0, 1)) - 1 \\ v_2 = 2 \cdot T_{seed2}(U(0, 1)) - 1 \\ s = v_1^2 + v_2^2 \end{cases} \text{ في حال } s \geq 1$$

v_1 و v_2 هما متغيران عشوائيان مستقلان (يستخدمان متجهين مختلفين) ويتوزعان بانتظام بين -1 و 1.

ومن أي نوع من التوزع ذي دالة توزع تراكمي معينة، cdf .

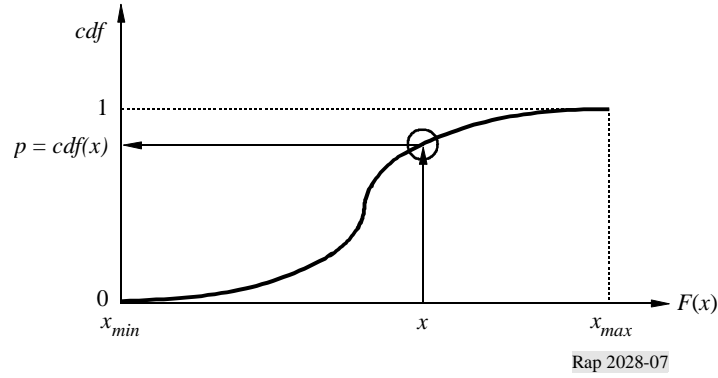
يمكن إجراء بعض التجارب وفقاً لتوزع معرف من المستخدم F .

وتستند التجربة إلى استخدام دالة التوزيع التراكمي التبادلية، cdf^{-1} ، بالنسبة للتوزيع المعرف من المستخدم، F ، المطبق على نتيجة عينة منتظمة بين 0 و 1.

$$T(F) = cdf^{-1}(p) \quad \text{حيث} \quad p = T(U(0,1)) \quad (\text{تجربة منتظمة بين 0 و 1})$$

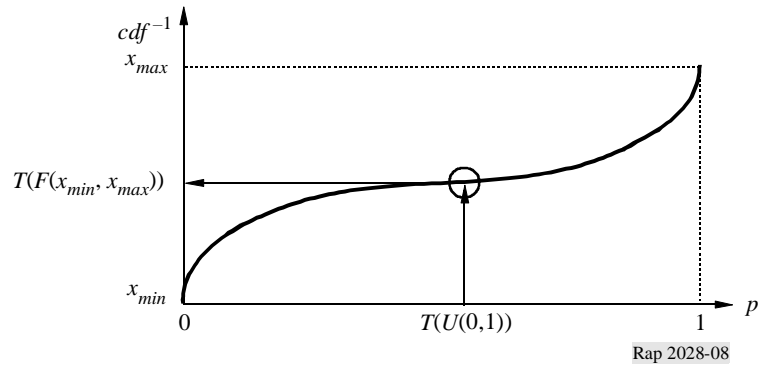
الشكل 8

دالة cdf المباشرة



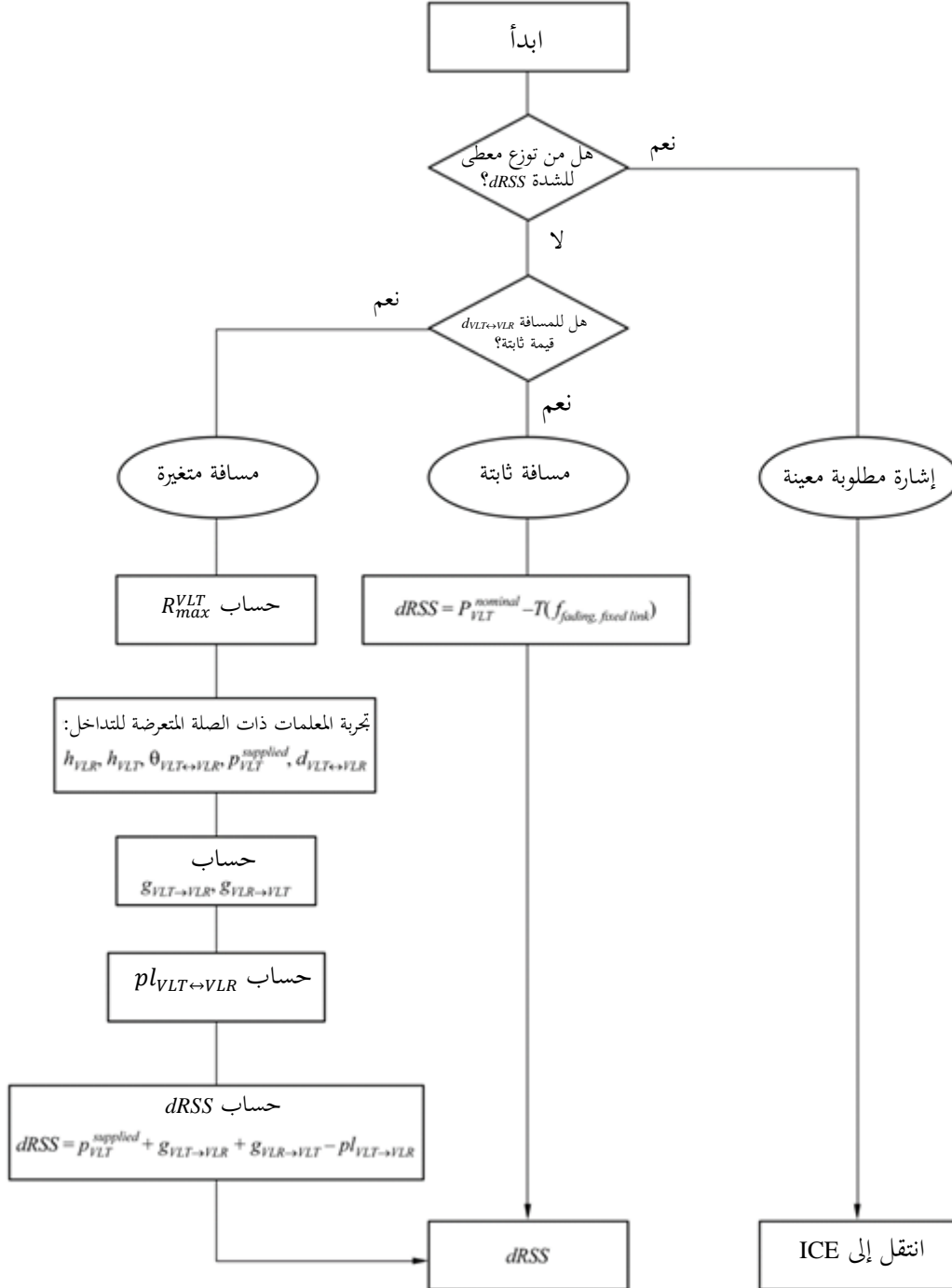
الشكل 9

مقلوب دالة cdf



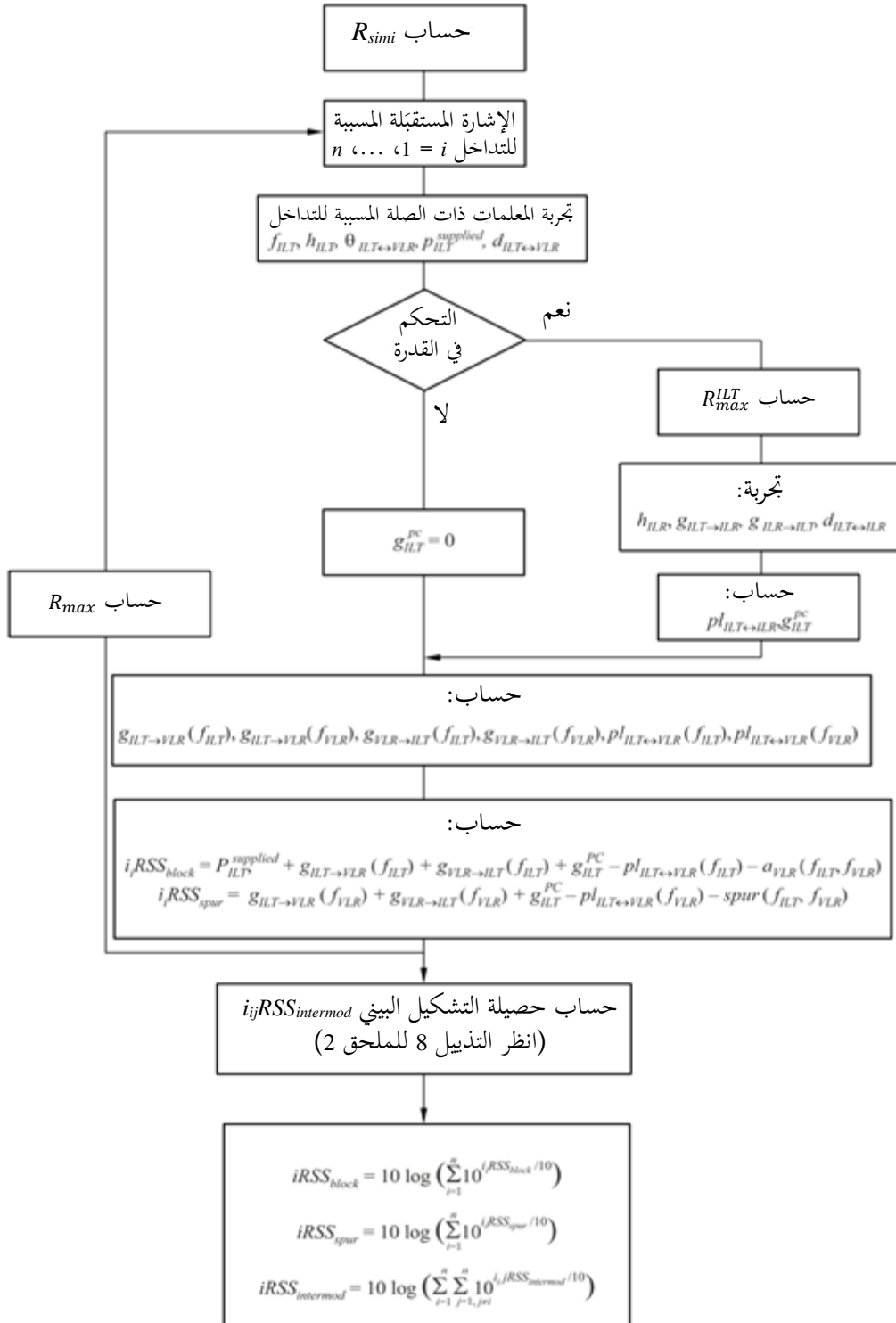
المرفق 5 بالملاحق 2

مخطط وظيفي لحساب شدة الإشارة المستقبلية المطلوبة ($dRSS$)



المرفق 6
بالملاحق 2

حساب شدة الإشارة المستقبلية المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب (*iRSS*)
جاء البث غير المطلوب والحجب



المرفق 7 بالملاحق 2

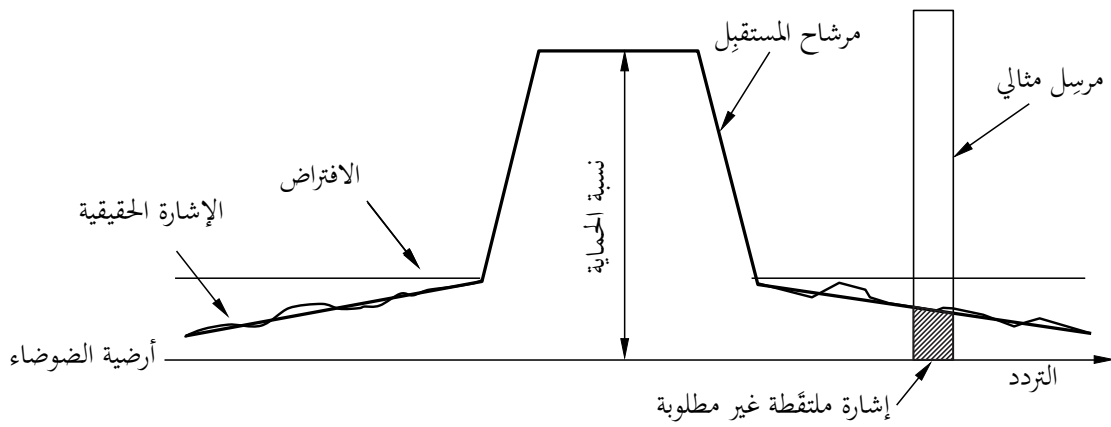
حجب المستقبل

1 المفهوم الأساسي

يلتقط المستقبل بعض الإشارات غير المطلوبة لأن المرشاح ليس مثالياً.

الشكل 10

المفهوم الأساسي



Rapport SM.2028-10

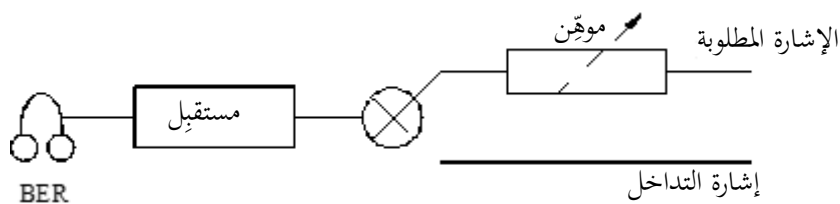
التعريف: الحجب هو مقياس لقدرة المستقبل على استقبال إشارة دخل مطلوبة مشكّلة في وجود إشارة دخل غير مطلوبة على ترددات غير تلك العائدة إلى الاستجابات الهامشية أو القنوات المجاورة، ودون أن تتسبب إشارات الدخل غير المطلوبة هذه في تردي أداء المستقبل بما يتجاوز الحد المحدد (الوثيقة 1992: IETS 300 113).

2 قياسات مستوى الحجب

- ضبط الإشارة المطلوبة عند مستوى حد نسبة الخطأ في البتات (BER).
- زيادة هذه الإشارة المطلوبة بنسبة 3 dB وإضافة إشارة تداخل تزداد حتى الحصول على نفس نسبة الخطأ في البتات.
- النسبة (إشارة التداخل/إشارة المطلوبة) هي قيمة حجب المستقبل.

الشكل 11

إجراء القياس



Rap 2028-10

3 توهين المستقبل

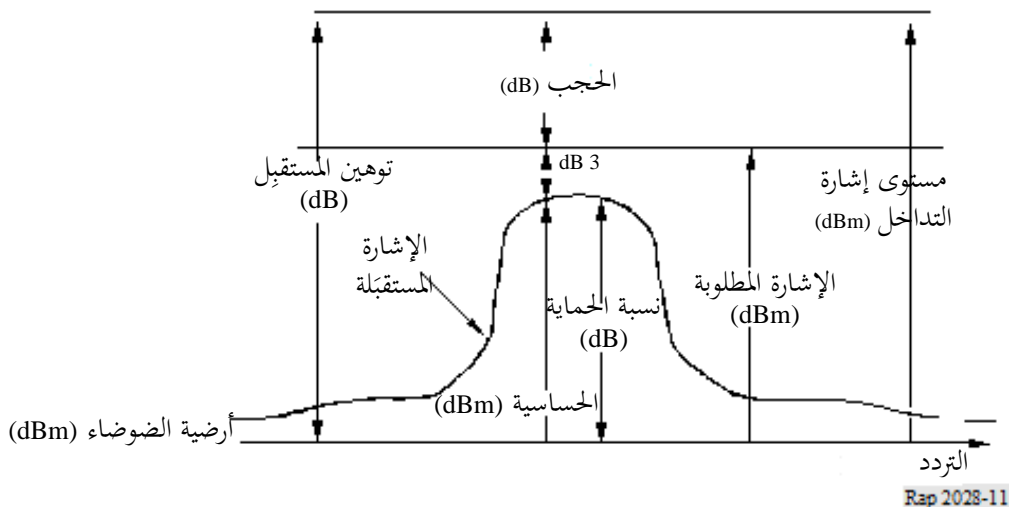
أثناء إجراء القياس، تصح المعادلات الثلاث التالية:

- أرضية الضوضاء + نسبة الحماية + dB 3 = مستوى الإشارة المطلوبة،
- مستوى الإشارة المطلوبة + الحجب = مستوى إشارة التداخل،
- مستوى إشارة التداخل - التوهين = أرضية الضوضاء.

وبالتالي:

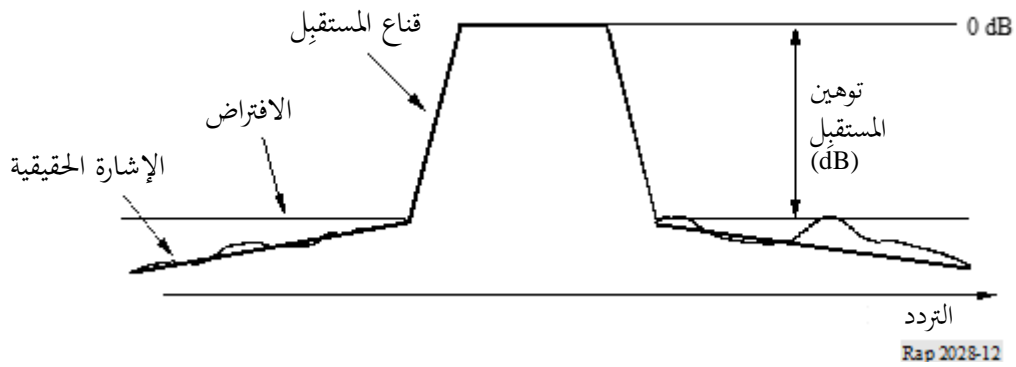
التوهين = dB 3 + نسبة الحماية + الحجب

الشكل 12



الشكل 13

قناع المستقبل

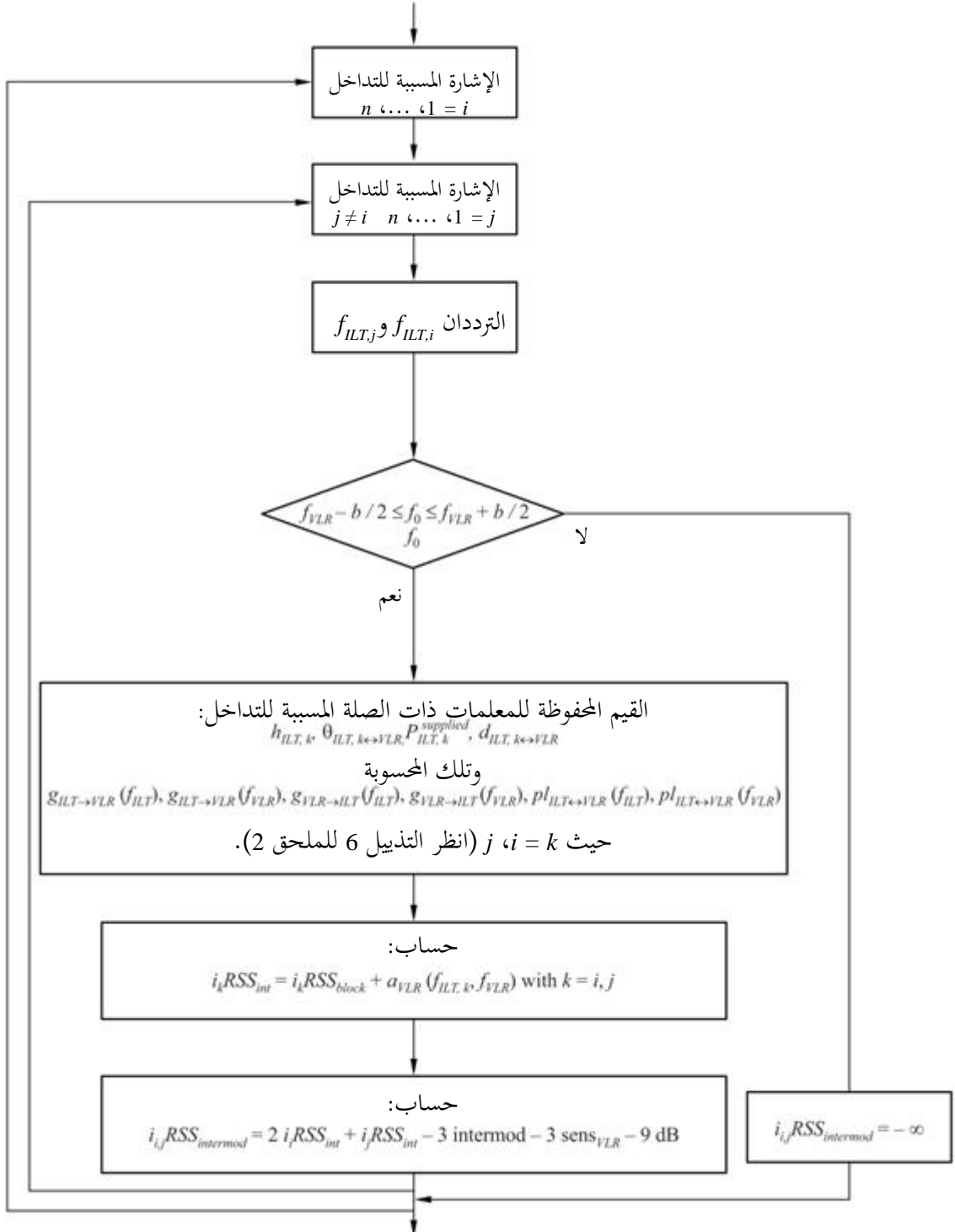


المرفق 8

بالملاحق 2

شدة الإشارة المستقبلية المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب ($iRSS$)
جاء التشكيل البيئي

هذا المخطط الوظيفي هو جزء من المخطط الوظيفي الوارد في المرفق 6.



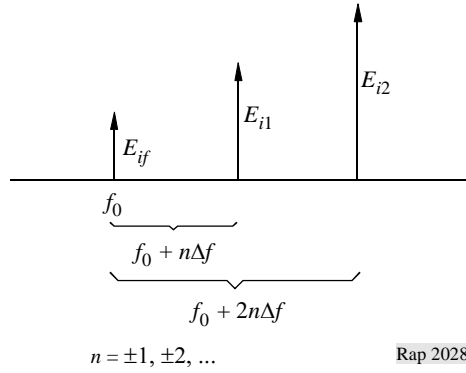
المرفق 9 بالملاحق 2

التشكيل البيئي في المستقبل

تنشأ المساهمة الرئيسية في تداخل التشكيل البيئي من الإشارات المسببة للتداخل في القنوات المجاورة بسبب الانتقائية الترددية للهوائيات ومعدات المستقبل. ويُنظر هنا في خدمة ذات إشارة مطلوبة على التردد f_0 وفصل بين القنوات Δf وإشارتي التداخل E_{i1} و E_{i2} على الترددين $f_0 + n\Delta f$ و $f_0 + 2n\Delta f$ على التوالي. وتنتج العناصر غير الخطية في المستقبل حصيلة تشكيل بيئي E_{if} من الدرجة الثالثة على ذلك التردد (انظر الشكل 14).

$$(1) \quad f_0 = 2(f_0 + n\Delta f) - (f_0 + 2n\Delta f) \quad n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

الشكل 14



وتعطي شدة الإشارة E_{if} لخصيلة التشكيل البيئي من خلال:

$$(2) \quad E_{if} = kE_{i1}^2 E_{i2}$$

وعند تحديد ثابت ما رمزه k . تُقرأ المعادلة (2) لمستويات الإشارة (المقاسة بوحدة dB) كما يلي:

$$(3) \quad L_{if} = 2L_{i1} + L_{i2} + 20 \log k$$

ويمكن العثور على ثابت $20 \log k$ في المعادلة (3) من إجراء القياس الموصوف في معيار المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (ETSI) 300 113، بالفقرة 8.8 منه. ويشبه هذا الأسلوب المساهمة الواردة في المرفق 7 بشأن حجب التداخل.

ويعرّف المعيار ETS 300-113 عبر استجابة التشكيل البيئي L_{imr} ، مستويات الإشارة المسببة للتداخل $L_{i2} = L_{i1}$ التي يبدأ عندها تسجيل أخطاء البتات الناتجة عن التشكيل البيئي (انظر الشكل 15).

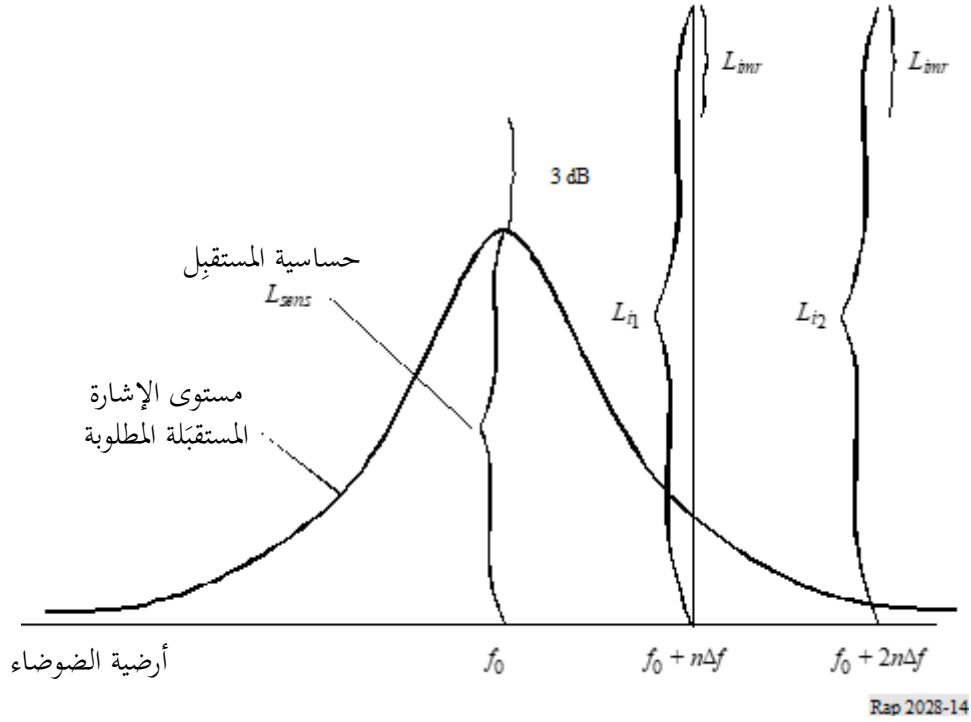
وهذا يعني، بالنسبة إلى L_{i1} و L_{i2} كما في الشكل 15، أن لدينا حصيلة تشكيل بيئي L_{if} عند أرضية الضوضاء تماماً (0 dB). وعند إدخال L_{i1} و L_{i2} من الشكل 15 في المعادلة (3) نحصل على التالي:

$$(4) \quad 0 = 2(L_{imr} + 3 \text{ dB} + L_{sens}) + (L_{imr} + 3 \text{ dB} + L_{sens}) + 20 \log k$$

وبأخذ قيمة k من المعادلة (4)، تصبح المعادلة (3):

$$(5) \quad L_{if} = 2L_{i1} + L_{i2} - 3L_{imr} - 3L_{sens} - 9 \quad \text{dB}$$

الشكل 15



المرفق 10 بالملاحق 2

تأثير عروض النطاق المختلفة

أ) المسير المطلوب

يرسل مرسل وصلة المتعرضة للتداخل قدرته p_{VLT} (dBm) على التردد f_{VLT} ضمن عرض نطاق معين b_{VLT} . ويستخدم عرض النطاق هذا أيضاً لتحديد حصيلة التشكيل البيئي (انظر المرفق 8 بهذا الملحق 2).

ب) مرسل الوصلة المسببة للتداخل

في مرسل الوصلة المسببة للتداخل، ينبغي تعريف قناع بث، $emission_{ILT}$ ، كدالة $f_{ILT} - f = \Delta f$ ، على أنه أقصى مستويات قدرة البث، $emission_{ILT}(\Delta f)$ ، في عرض النطاق المرجعي، (Δf) ، على النحو الذي يحدده المستخدم. ويمكن التعبير عن هذا القناع أيضاً كحد أقصى:

- لمجموع قدرة التداخل الموردة، $p_{ILT}^{supplied}$ ، وقناع بث نسبي (يحتوي على الإرسال المطلوب وجميع مصادر البث غير المطلوبة بما في ذلك أرضية البث حسب التحكم في القدرة) والتحكم في قدرة الكسب؛
- أو لأرضية البث المطلقة.

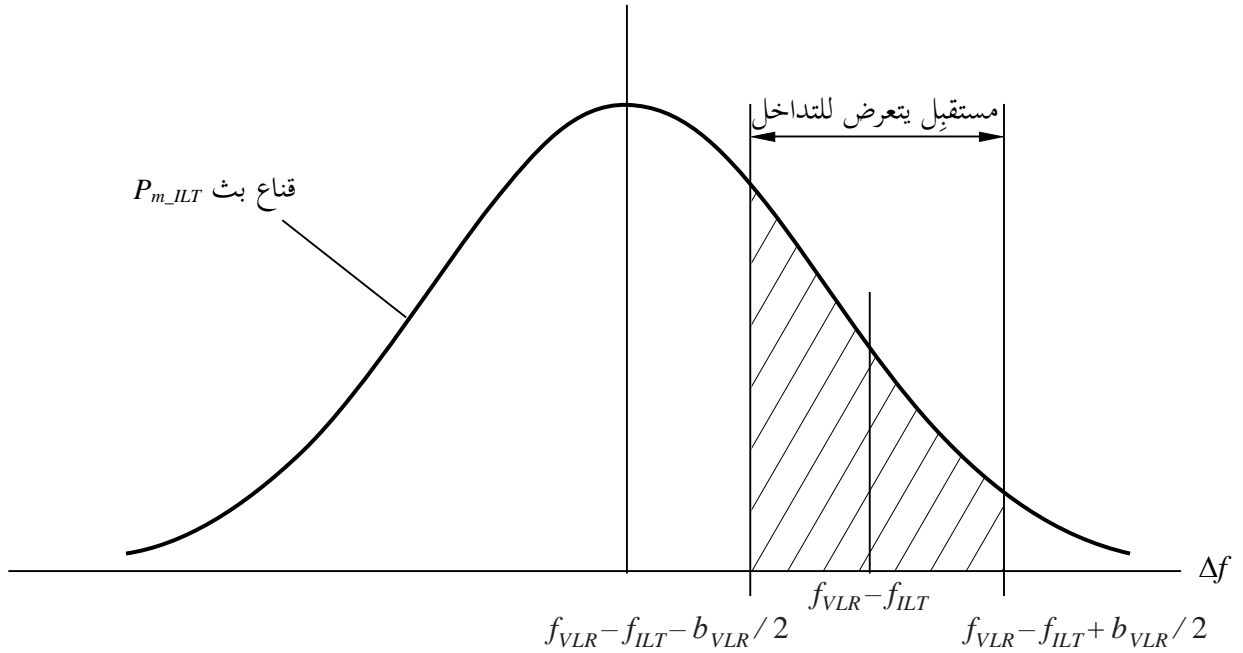
ويوصف قناع البث النسبي بثلاثية (تخالف التردد (MHz)، ومستوى البث النسبي (dBc) وعرض النطاق المرجعي (MHz)). ويرد تعريف أرضية البث في الفقرة هـ) من هذا المرفق.

وتستخدم قدرة إرسال مرسل الوصلة المسببة للتداخل P_{ILT} (dBm) على التردد f_{ILT} لتقييم ميزانية الوصلة مع مستقبل الوصلة المسببة للتداخل (أي التحكم في القدرة).

ج) مبدأ تحديد القدرة المسببة للتداخل

الشكل 16

مبدأ تحديد القدرة المسببة للتداخل



Rapport SM.2028-16

ويبين الشكل 16 مبدأ القدرة المسببة للتداخل. ففي حال $f_{VLR} = f_{ILT}$ ، تقع الترددات المسببة للتداخل في نطاق استقبال مستقبل الوصلة المتعرضة للتداخل بالضبط (تداخل القناة المشتركة).

وللتبسيط ضمن الخوارزميات، تقيس دالة القناع p_{mi} على عرض نطاق مرجعي قدره 1 Hz:

$$p_{ni} = p_{mi}(\Delta f) - 10 \log \frac{b}{1 \text{ Hz}}$$

وعرض النطاق b هو عرض النطاق المستخدم لقناع البث.

ويمكن بسهولة حساب إجمالي قدرة المسببة للتداخل المستقبلية بالتكامل عبر عرض نطاق المستقبل من

$$.a = f_{VLR} - f_{ILT} - b_{VLR} / 2 \text{ to } b = f_{VLR} - f_{ILT} + b_{VLR} / 2$$

$$power_{ILT} = 10 \log \left\{ \int_a^b 10^{(p_{n_ILT}(\Delta f)/10)} d\Delta f \right\}$$

حيث يدل p_{ni} على القناع المقيس (dBm/Hz). وباستخدام عرض النطاق المرجعي 1 Hz يمكن الاستعاضة عن التكامل بجمع، فتُعطي القدرة $power_{ILT}$ بوحدة dBm:

$$power_{ILT} = 10 \log \left\{ \sum_{i=a}^b 10^{(p_{n_ILT}(\Delta f_i)/10)} \right\}$$

الملاحظة 1 - يمكن تقدير القدرة المسببة للتداخل لنظام راديوي له عرض نطاق مختلف بواسطة الخوارزميات المذكورة أعلاه. ولا يلزم هذا الحساب إلا للتداخل الناجم عن البث غير المطلوب أو القناة المشتركة ولكن ليس للحجب والتشكيل البيئي. علماً بأن تطبيق قناع معرف من المستخدم يوصى به دائماً حتى لو كان القناع مسطحاً.

(د) التنفيذ في أداة SEAMCAT

يرد شرح المبدأ في الفقرة (ج). بيد أن هذه الخوارزمية بطيئة جداً من حيث وقت الحساب. لذلك يستخدم النهج التالي: يمكن حساب إجمالي القدرة المسببة للتداخل بالنسبة إلى الموجة الحاملة، $emission_rel_{ILT}$ ، بالتكامل عبر عرض نطاق المستقبيل من $a = f_{VLR} - f_{ILT} - B_{VLR}/2$ to $b = f_{VLR} - f_{ILT} + B_{VLR}/2$

$$emission_rel_{ILT} = 10 \log \left\{ \int_a^b P_{rel}^{linear}(\Delta f) d\Delta f \right\} = 10 \log \left\{ \int_a^b 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f \right\}$$

حيث يدل P_{rel}^{dBc} على القناع المقيس (dBc/Hz) الذي يعرفه المستخدم. ويُعبّر عن هذا القناع كمصفوفة لنقاط $1+N$ $(\Delta f_i, P_i)$ ويفترض أنها خطية بين هذه النقاط.

$$P_{rel}(\Delta f) = P_i + \frac{\Delta f - \Delta f_i}{\Delta f_{i+1} - \Delta f_i} (P_{i+1} - P_i)$$

وهذا يؤدي إلى:

$$emission_rel_{ILT} = 10 \log \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f \right\}$$

حيث:

$$\Delta f_0 = a = f_{VLR} - f_{ILT} - B_{VLR}/2$$

$$\Delta f_N = b = f_{VLR} - f_{ILT} + B_{VLR}/2$$

وفي الحساب المتوسط:

$$emission_rel_i^{dBc} = \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f$$

$$emission_rel_i^{dBc} = 10^{\frac{P_i}{10}} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} \left[10^{\frac{P_{i+1}-P_i}{10(\Delta f_{i+1}-\Delta f_i)}} \right]^{(\Delta f-\Delta f_i)} d\Delta f$$

$$emission_rel_i^{dBc} = \frac{10^{\frac{P_i}{10}}}{K \Delta f_i} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} K^{(\Delta f-\Delta f_i)} d\Delta f, \quad K = 10^{\frac{P_{i+1}-P_i}{10(\Delta f_{i+1}-\Delta f_i)}}$$

$$emission_rel_i^{dBc} = \frac{10^{\frac{P_i}{10}}}{K \Delta f_i} \left[e^{\ln K} \right]_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} = \frac{10^{\frac{P_i}{10}}}{\ln K} \left[K^{\Delta f_{i+1}-\Delta f_i} - 1 \right], \quad \ln K = \frac{\ln 10}{10} \cdot \frac{P_{i+1}-P_i}{\Delta f_{i+1}-\Delta f_i}$$

$$emission_rel_i^{dBc} = \frac{10}{\ln 10} \frac{10^{P_{i+1}} - 10^{P_i}}{P_{i+1} - P_i} (\Delta f_{i+1} - \Delta f_i)$$

وفي النهاية:

$$emission_rel_{ILT} = 10 \log \left\{ \frac{10}{\ln 10} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(P_{i+1}^{linear} - P_i^{linear}) (\Delta f_{i+1} - \Delta f_i)}{(P_{i+1}^{dBc} - P_i^{dBc})} \right\}$$

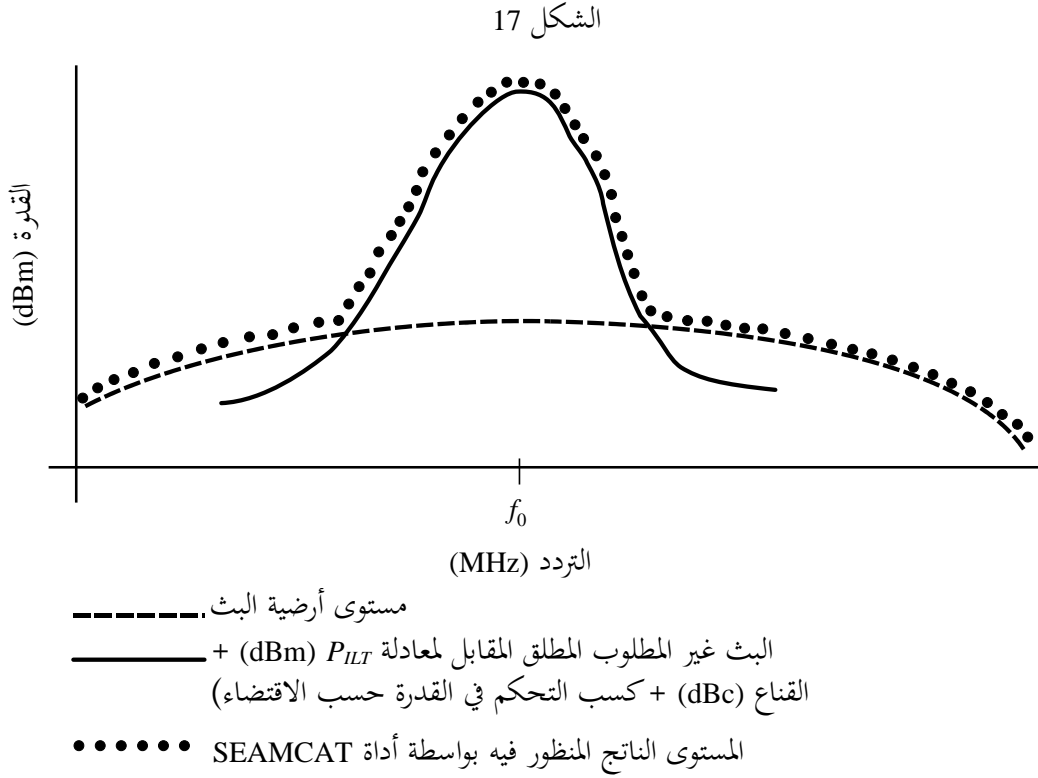
(هـ) أرضية البث غير المطلوب

تنطبق المعادلات المذكورة أعلاه أيضاً على أرضية البث المطلقة $emission_floor_{ILT}$ (dBm). ويمكن وصف قناع أرضية البث هذا بثلاثية (تخالف التردد (MHz)، عرض النطاق المرجعي (MHz)، أرضية البث (dBm)).

وأرضية البث تقيد البث الحقيقي بالمعادلة التالية:

$$emission_{ILT} = \max(emission_rel_{ILT} + P_{ILT}^{supplied} + g_{ILT}^{PC}, emission_floor_{ILT})$$

على النحو الموضح أيضاً في الشكل 17.



Rapport SM.2028-17

وعلماً بأن المقارنة تتضمن كسب التحكم في القدرة إذا اختير التحكم في القدرة.
وعلماً بأن أرضية البث غير المطلوب تحال إلى 1 MHz في أداة SEAMCAT.

المرفق 11 بالملاحق 2

مقاس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء

بافتراض أن القدرة المستقبلية تساوي حساسية مستقبل الوصلة المتعرّضة للتداخل، يمكن تحديد نصف قطر R_{max} المسير الراديوي المطلوب بالمعادلة التالية:

$$f_{median}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, R_{max}, env) + f_{slowfading}(X\%) = P_{VLT} + g_{VLT} + g_{VLR} - sens_{VLR}$$

حيث تعرّف خسارة المسير بمتوسط الخسارة بالإضافة إلى حد إضافي يمثل التوزيع:

$$P_{loss} = f_{median} + f_{slowfading}(X\%)$$

ويمكن التعبير عن توزيع خسارة المسير، p_{loss} ، بطريقة عامة بالمعادلة التالية:

$$Q(\mu + a, R_{max}) = y$$

حيث Q هو التوزيع التراكمي لنصف القطر R_{max} والمتوسط الناتج لخسارة المسير μ وخسارة إضافية في المسير a بسبب التيسر أو التغطية y . وتقابل خسارة التغطية، x ، بواسطة $y-1$. بافتراض أن الخبو البطيء يمكن تقريبه من خلال التوزيع اللوغاريتمي العادي، أي المتوسط \approx الوسطي، ويمكن إدخال العلاقة $a = b\sigma$ حيث تمثل b مضاعفات الانحراف المعياري المعروف σ . وترد بعض الأمثلة للتوضيح: بتغطية 95، ينتج $b = 1,96$ ، وبتغطية 99، ينتج $b = 2,58$ ، وبتغطية 99,9، ينتج $b = 3,29$ ، أو $b = 1,68$ بتغطية، من أجل $b = 2$ بتغطية 95,5%. ويمكن تحديد القيم الدقيقة بسهولة باستخدام مقلوب الدالة الغوسية.

عندئذ تكون المعادلة التجاوزية:

$$g(R_{max}) = P_{VLT} + g_{VLT} + g_{VLR} - sens_{VLR} - f_{median}(f_{VLR}, h_{VLR}, h_{VLT}, R_{max}, env) - b\sigma$$

ويمكن حلها باستخدام تكرار خطي مثل طريقة الخطأ الواحد العادية:

$$\tilde{R}_{max} = R_{max0} - \frac{R_{max0} - R_{max1}}{g(R_{max0}) - g(R_{max1})} g(R_{max0})$$

علماً بأن تقارباً أسرع يمكن تحصيله من خلال تطبيق المسافة في المقياس اللوغاريتمي، أي يجب الاستعاضة عن المتغير R بلوغاريتم (R) . ويلاحظ، في هذه الحالة، أن الصيغ المقدمة من أجل $f_{median}(R_{max}^{VLT}) + \dots$ يجب قلبها.

المرفق 12

بالملاحق 2

مخطط إشعاع الهوائي

توجد ثلاث طرق مختلفة لوصف مخطط إشعاع الهوائي (على النحو المطبق في أداة SEAMCAT):

- 1 هوائي شامل الاتجاهات؛
- 2 مخطط إشعاع الهوائي الاتجاهي الأفقي والرأسي (dBi)؛ مجال الكسب إلى الفص الرئيسي ويرد تعريفه بشكل منفصل في الاتجاه الأفقي كدالة لزاوية السم (φ) ، وفي الاتجاه الرأسي كدالة للارتفاع (θ) ؛
- 3 مخطط إشعاع الهوائي الاتجاهي الكروي (dBi)؛ مجال الكسب إلى الفص الرئيسي وهو دالة للزاوية الكروية ψ ، ويعرّف بدلالة السم والارتفاع على النحو التالي:

$$\cos \psi = \cos(\theta) \cos(\varphi)$$

$$g_{\theta, \varphi} = g_{max} \times g_s(\cos^{-1}(\cos \theta \cos \varphi))$$

وفي أي من الحالتين الأخيرتين يمكن تعريف الكسب بطريقتين مختلفتين في أداة SEAMCAT:

- 1 كجدول للقيم بوصفه دالة للزاوية، مع استكمال داخلي يستخدم لتحديد كسب الزوايا غير المحددة. بالنسبة لمخططات الإشعاع الأفقية والرأسية، يُجمع بين مجموعتي القيم لإنتاج قيمة كسب واحدة (في ميدان خطي) على النحو التالي:

$$g_{\theta, \varphi} = \begin{cases} g_{max} \times \sqrt{\frac{g_{H, \theta}^2 + g_{V, \varphi}^2}{2}}, & |g_{H, \theta} - g_{V, \varphi}| < 2 \\ g_{max} \times \min(g_{H, \theta}, g_{V, \varphi}), & |g_{H, \theta} - g_{V, \varphi}| \geq 2 \end{cases}$$

حيث:

الكسب في الزاوية ذات الصلة	$g_{\theta,\varphi}$
ذروة كسب الهوائي	g_{max}
الكسب الأفقي عند زاوية السم φ	$g_{H,\varphi}$
الكسب الرأسي عند زاوية الارتفاع θ .	$g_{V,\theta}$

بالنسبة للهوائيات الكروية، يُحسب الكسب (في ميدان خطي بدلالة السم والارتفاع) على النحو التالي:

$$g_{\theta,\varphi} = g_{max} \times g_s(\cos^{-1}(\cos \theta \cos \varphi))$$

حيث:

الكسب في الزاوية ذات الصلة	$g_{\theta,\varphi}$
ذروة كسب الهوائي	g_{max}
كسب الهوائي كدالة للزاوية الكروية	g_s
زاوية السم ذات الصلة	φ
زاوية الارتفاع ذات الصلة.	θ

2 بناءً على معادلة أو مجموعة معادلات (مثل التوصية ITU-R F.699 أو ITU R F.1336).

يمكن تعريف اتجاه تسديد الهوائي بطريقتين مختلفتين:

1 باتجاه تسديد ثابت في السم والارتفاع بالنسبة للمستوي المرجعي (مثل محطات القاعدة الخلوية)؛

2 يتحدد التسديد بمعلمات وصلة - أي توصف المواقع وقيم العلو (الإحداثيات x, y, z) للمرسل والمستقبل، ويُحسب التسديد بالنسبة لعنصر الوصلة الآخر

ويمكن تعريف الإمالة، إما كمدخل محدد من المستخدم (وينطبق ذلك بشكل أساسي على محطات القاعدة الخلوية)، أو يُحسب كدالة لتسديد الوصلة (وينطبق ذلك بشكل أساسي على وصلات الخدمة الثابتة). بالنسبة للهوائيات المائلة، تقتضي الضرورة تطبيق عامل تصحيح على زوايا السم والارتفاع، على النحو المحدد في الملحق 5 بالتوصية ITU-R F.1336.

المراجع

KNUTH, D. E. [1969] *The Art of Computer Programming*, Vol. 2, *Seminumerical Algorithms*. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts, United States of America.

RUBINSTEIN, R. Y. [1981] *Simulation and the Monte Carlo Method*. Haifa, Israel.

ECC Report 252 [2016] SEAMCAT Handbook

بييليوغرافيا

الوثيقة (Rev.1) 1-3/31: مقترح بشأن نموذج انتشار ليصار إلى استخدامه في نماذج حساب تداخل البث الهامشي (مايو 1995). فرنسا. لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية.

الملحق 3

محرك تقييم التوزع

يظهر المخطط الوظيفي لمحرك تقييم التوزع (DEE) في الشكل 18. ويمكن إجراء اختبار حُسن الملاءمة إما عن طريق اختبار مربع كاي (χ^2) أو عن طريق خوارزمية كولموغوروف-سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov).

وتختبر هذه الخوارزمية بشكل أساسي ما إذا كانت عينة عشوائية من الرصدات تتوافق مع التوزع التراكمي المحدد مسبقاً. ويمكن أن يكون التوزع المحدد مسبقاً مستمراً أو منفصلاً أو هجيناً. وبالتالي، فإن أسلوب مربع كاي متعدد الاستخدامات إلى حد كبير؛ وتُفترخ خوارزمية واحدة للاستخدام ضمن محرك تقييم التوزع (DEE) لاختبار جميع الأنواع الممكنة من دوال توزع الاحتمالات.

وتُمر مجموعة من العينات بشأن متغير RSS العشوائي إلى محرك تقييم التوزع (DEE). فيختبر محرك تقييم التوزع أولاً ما إذا كان طول الصفيف، N (عدد العينات)، طويلاً بما يكفي لإنتاج توزع مستقر. ويتحقق ذلك باستخدام عدد $N - dN$ من العينات لتأسيس دالة توزع أولية منفصلة وحساب دالة cdf المقابلة. ثم تُستخدم دالة cdf هذه كمرجع في اختبار مربع كاي الذي يجري الآن على مجموعة كاملة من عينات N . فإذا أظهر الاختبار أن توزعين منفصلين يختلفان أكثر من قيمة مقبولة ومحددة مسبقاً، تُرسل رسالة إلى محرك إنشاء الأحداث (EGE) لإنشاء بعض العينات الإضافية. وعلى العكس من ذلك، في حال استيفاء معايير مربع كاي، يستمر محرك تقييم التوزع في اختبار ما إذا كان يمكن استخدام دالة كثافة الاحتمالات المستمرة أم لا.

ويقدم المخطط الوظيفي في الشكل 18 مثلاً على اختبار توزع غوسي. وتنطبق خوارزمية مربع كاي بالتساوي على أي توزع مستمر آخر يمكن أن يمثل متغير RSS العشوائي. وتتيح دالة التوزع المستمر صيغة شكل مغلق لحساب الاحتمالات في محرك حساب التداخل (ICE)، وهذا بدوره يتطلب حساباً فعالاً عددياً. وإذا لم يتحقق احتواء مستمر لدالة توزع مجموعة العينات (pdf) بالدقة الكافية، فإن تمثيل دالة توزع مجموعة العينات المنفصل وحساب الاحتمالات العددية هو السبيل الوحيد للمضي قدماً.

والترميز المستخدم هو:

$\langle RSS \rangle$: مجموعة عينات متغيرة عشوائية

N : حجم مجموعة العينات

I : عدد داخلي للقيام باختبار الاستقرار

dN : جزء من حجم مجموعة العينات (من قبيل $dB = 0,1N$)

Y : معايير اختبار مربع كاي (انظر المرفق 1 بالملحق 3)

$\chi_{1-\alpha}$: التجزيء - في المستوى المرجعي لاختبار مربع كاي

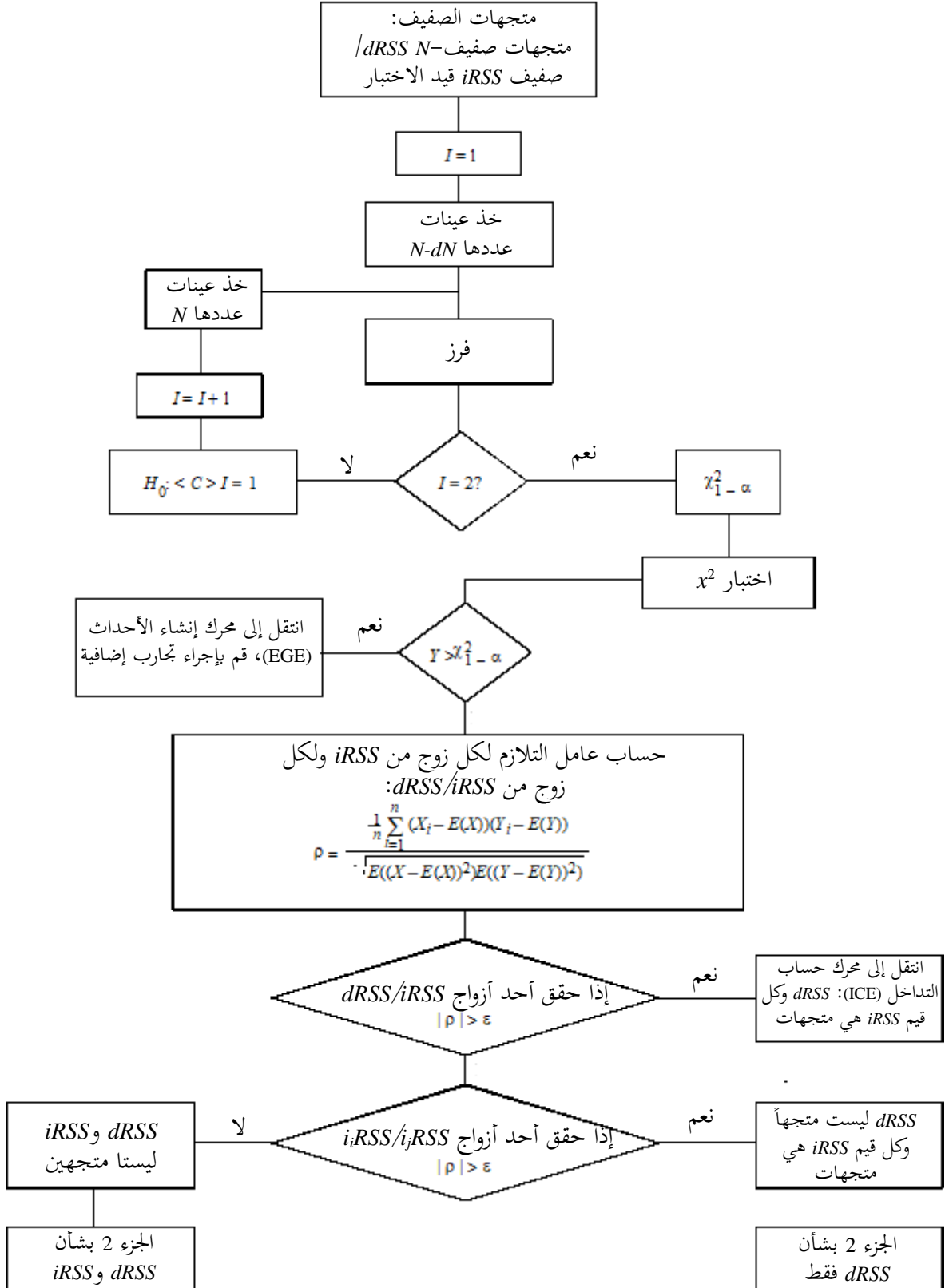
n : عينة العداد الكلية

$\langle C \rangle$: صفيف مُعامل cdf منفصل

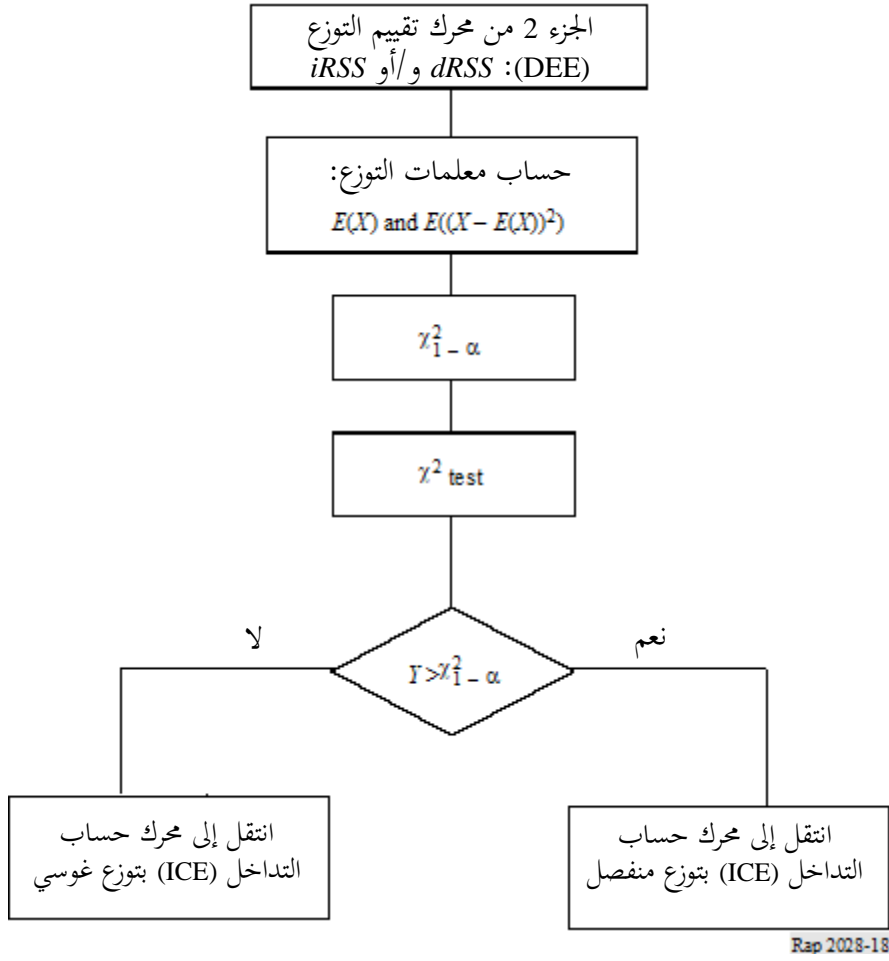
ويعرض المخطط الوظيفي في الشكل 19 واحدة من العديد من الإمكانيات المختلفة لتكوين دالة pdf المنفصلة لمتغير عشوائي.

الشكل 18

المخطط الوظيفي لمحرك تقييم التوزع (DEE)



الشكل 19



المرفق 1 بالملاحق 3

اختبار مربع كاي لحسن الملاءمة

يُعتبر اختبار مربع كاي لحسن الملاءمة من أقدم الاختبارات الإحصائية وأكثرها شهرة.

لنفترض أن X_1, X_2, \dots, X_N هي مجموعة عينات مأخوذة من دالة توزيع تراكمي (cdf) مجهولة، $F_x(x)$. يعتمد اختبار مربع كاي على اختبار الفرضية الصفرية:

$$H_0: F_x(x) = F_0(x) \text{ لجميع قيم } x \quad \text{مقابل} \quad H_1: F_x(x) \neq F_0(x) \text{ البديلة لبعض قيم } x$$

وافترض أن رصدات عددها N تُقرر ضمن فئات متنافية عددها K . ودعنا نوضح بالرمز N_j عدد التجارب المرصودة في الفئة رقم j ($j = 1, 2, \dots, K$). بالإضافة إلى ذلك، دعنا نوضح بالرمز N_j^0 عدد التجارب المتوقع أن تندرج في الفئة رقم j وفقاً لدالة توزيع تراكمي (cdf) معروفة، $F_0(x)$.

ويستخدم الاختبار الفعلي المعايير التالية:

$$Y = \sum_{j=1}^K \frac{(N_j - N_j^0)^2}{N_j^0}, \quad \sum_{j=1}^K N_j = N$$

التي تميل إلى الصغر عندما تكون الفرضية الصفرية، H_0 ، على صواب، وإلى الكبر عندما تكون H_0 على خطأ. والمتغير Y هو أيضاً متغير عشوائي يطاوع توزيع مربع كاي في عدد N كبير.

ومن الناحية العملية، لكي تسود الفرضية الصفرية، H_0 ، نتوقع التالي:

$$P(Y > \chi_{1-\alpha}^2) = \alpha$$

حيث α هو المستوى ذو الدلالة، من قبيل 0,05 أو 0,1؛ والتجزئ $\chi_{1-\alpha}^2$ يقابل احتمال $1-\alpha$ ويرد في الجداول لتوزيع مربع كاي (انظر الجدول 2).

وينطبق اختبار مربع كاي لحسن الملائمة بالقدر نفسه على دوال كثافة الاحتمال المنفصلة والمستمرة.

الجدول 2

التجزئ $\chi_{1-\alpha}^2$ لتوزيع مربع كاي

0,75	0,90	0,95	0,975	$1 - \alpha$ K
6,74	4,86	3,94	3,25	10
15,45	12,44	10,85	9,59	20
24,48	20,60	18,49	16,79	30
33,66	29,05	24,43	24,43	40
42,94	37,69	34,76	32,36	50
52,29	46,46	43,19	40,48	60
61,70	55,33	51,74	48,76	70
71,14	64,28	60,39	57,15	80
80,62	73,29	69,13	65,65	90
90,13	82,36	77,93	74,22	100

المرفق 2

بالملاحق 3

اختبار Kolmogorov-Smirnov للاستقرار

إن الغرض من مرحلة التقييم هذه هو تقدير ما إذا كان عدد الأحداث التي أنشئت يكفي لاعتبار النتائج مستقرة من وجهة نظر إحصائية. ويجرى تقييم الاستقرار من خلال اختبار حُسن الملاءمة مع اختبار Kolmogorov-Smirnov للتحقق مما إذا كان التوزيع المحصّل من عينات عددها $N - dN$ وذلك المحصّل من عينات عددها N لا يختلفان بأكثر من قيمة محددة:

فأولاً، يجب اشتقاق دالتين للتوزيع التراكمي من متجه صفييف الدخل:

- توزيع مشتق من أول عينات $N - dN$ في متجه الصفييف،

- توزيع مشتق من متجه الصفييف الكامل (عينات عددها N).

ويتم ذلك بفرز صفييف بسيط. ثم يتكون الاختبار ببساطة من إجراء اختبار مربع كاي بالمدخلات التالية:

- عتبة الاستقرار المحددة (بين 0 و 1)،

- التوزيع المرجعي: توزيع مشتق من الصفييف $N - dN$ ،

- التوزيع المختبر: التوزيع المشتق من الصفييف $N - dN$.

ووفقاً لنتيجة اختبار Kolmogorov-Smirnov، إذا كانت النتيجة أكبر من عتبة الاستقرار، يعتبر تقييم الاستقرار ناجحاً.

الملحق 4

محرك حساب التداخل

خوارزمية الحساب

في خوارزمية حساب محرك حساب التداخل (ICE)، تُفترض الافتراضات التالية:

- $iRSS$ هي متغيرات مستقلة، حيث يقابل المؤشر i النمط رقم i من سيناريو التداخل.

- تسود إحدى قيم $iRSS$ فيما يتعلق بجميع الإشارات المسببة للتداخل.

ويُقرأ الاحتمال الإجمالي، P_D ، لعدم التعرض للتداخل من إشارة التداخل المركبة كما يلي:

$$(6) \quad P_D = P \left(\frac{dRSS}{iRSS_{composite}} > \frac{C}{I} \mid dRSS > sens_{VLR} \right)$$

وباستخدام الافتراض الثاني، يمكننا تقريب المعادلة (6) بالمعادلة التالية:

$$(7) \quad P_D = P \left(\bigcap_{i=1}^n \left(\frac{dRSS}{i_i RSS} > \frac{C}{I} \mid dRSS > sens \right) \right)$$

ونظراً لأن $i_i RSS$ هي متغيرات مستقلة، يمكننا كتابة المعادلة (7) على النحو التالي:

$$(8) \quad P_D \approx \prod_{i=1}^n P \left(\frac{dRSS}{i_i RSS} > \frac{C}{I} \mid dRSS > sens \right) \equiv \prod_{i=1}^n P_i(C/I)$$

ويمكن بسهولة تبيان أن $1 - P_D$ يعطي احتمال التعرض للتداخل.

وجميع الإشارات غير متلازمة ويعطى توزيعها في شكل مغلق. فأولاً، تُحسب دالة التوزيع التراكمي لإشارة التداخل المركبة من خلال دمج دوال توزيع $i_i RSS$. وتتحدد دالة توزيع $iRSS_{composite}$ بواسطة تقنية مونت كارلو. وأخيراً، تُحسب المعادلة (6) باستخدام صيغة الاحتمال الشرطي التي تدمج توزيعات $dRSS$ و $iRSS_{composite}$.