**التقـرير ITU-R  SM.2028-2  
(2017/06)**

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

**السلسلة SM**

**إدارة الطيف**

**تمهيـد**

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

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

**سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)**

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

|  |  |
| --- | --- |
| **سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية**  (يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P** انتشار الموجات الراديوية | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تشارُك الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM إدارة الطيف** | |

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

*النشر الإلكترونـي*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).

التقـرير ITU-R  SM.2028-2[[1]](#footnote-1)\*

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

(2017-2002-2001)

**المحتويات**

**الصفحة**

[1 خلفية 3](#_Toc38474263)

[2 منهجية محاكاة مونت كارلو: نظرة عامة 4](#_Toc38474264)

[1.2 مثال توضيحي (البث غير المطلوب فقط، أكثر مسببات التداخل تأثيراً) 4](#_Toc38474265)

[3 متطلبات المعمارية 7](#_Toc38474266)

[1.3 محرك إنشاء الأحداث 7](#_Toc38474267)

[2.3 حسابات التداخل 8](#_Toc38474268)

[الملحق 1 – قائمة مَعلمات الدخل 9](#_Toc38474269)

[الملحق 2 – محرك إنشاء الأحداث 12](#_Toc38474270)

[المرفق 1 بالملحق 2 – نموذج الانتشار 22](#_Toc38474271)

[1 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU‑R P.452 23](#_Toc38474272)

[2 الخسارة على خط البصر الطلق 24](#_Toc38474273)

[3 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.528 لخدمات الطيران والخدمات الساتلية 25](#_Toc38474274)

[4 نموذج الانتشار وفق التوصية ITU-R P.1411 25](#_Toc38474275)

[5 نموذج الانتشار الموجات المترية (VHF)/الموجات الديسيمترية (UHF) (التوصية ITU-R P.1546) 26](#_Toc38474276)

[6 نموذج هاتا (Hata) الموسع 27](#_Toc38474277)

[1.6 حساب خسارة المسير المتوسطة *L* 27](#_Toc38474278)

[2.6 تقييم الانحراف المعياري للتوزع اللوغاريتمي العادي 29](#_Toc38474279)

[7 نموذج الانعراج الكروي 29](#_Toc38474280)

[8 نماذج انتشار داخل المباني وفي الخلاء معاً 32](#_Toc38474281)

[9 نموذج الانتشار لدى الفريق التقني المشترك 5-6 (JTG 5-6) 34](#_Toc38474282)

[10 نموذج انتشار Longley Rice (ITM) 35](#_Toc38474283)

[11 نموذج الانتشار C من المعيارIEEE 802.11 36](#_Toc38474284)

[المرفق 2 بالملحق 2 – دالة التحكم في القدرة 37](#_Toc38474285)

[المرفق 3 بالملحق 2 – تعاريف التوزع 38](#_Toc38474286)

[المرفق 4 بالملحق 2 – إنشاء الأعداد شبه العشوائية 39](#_Toc38474287)

[المرفق 5 بالملحق 2 – مخطط وظيفي لحساب شدة الإشارة المستقبَلة المطلوبة *(dRSS)* 41](#_Toc38474288)

[المرفق 6 بالملحق 2 – حساب شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب *(iRSS)* جراء البث غير المطلوب والحجب 42](#_Toc38474289)

[المرفق 7 بالملحق 2 – حجب المستقبِل 43](#_Toc38474290)

[1 المفهوم الأساسي 43](#_Toc38474291)

[2 قياسات مستوى الحجب 43](#_Toc38474292)

[3 توهين المستقبِل 44](#_Toc38474293)

[المرفق 8 بالملحق 2 – شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب *(iRSS)* جراء التشكيل البيني 45](#_Toc38474294)

[المرفق 9 بالملحق 2 – التشكيل البيني في المستقبِل 46](#_Toc38474295)

[المرفق 10 بالملحق 2 – تأثير عروض النطاق المختلفة 47](#_Toc38474296)

[المرفق 11 بالملحق 2 – مقاس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء 51](#_Toc38474297)

[المرفق 12 بالملحق 2 – مخطط إشعاع الهوائي 52](#_Toc38474298)

[المراجع 53](#_Toc38474299)

[بيبليوغرافيا 54](#_Toc38474300)

[الملحق 3 – محرك تقييم التوزع 54](#_Toc38474301)

[المرفق 1 بالملحق 3 – اختبار مربع كاي لحُسن الملاءمة 56](#_Toc38474302)

[المرفق 2 بالملحق 3 – اختبار Kolmogorov-Smirnov للاستقرار 58](#_Toc38474303)

[الملحق 4 – محرك حساب التداخل 58](#_Toc38474304)

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

تعالجَ 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)[[2]](#footnote-2) 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 ستتعرض له المستقبِلات ذات الصفة التمثيلية. واتُفق في قطاع الاتصالات الراديوية على أن مستوى التداخل ينبغي التعبير عنه بدلالة احتمال تضرر قدرة الاستقبال في المستقبِل 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 والمستخدمة لتطوير الأداة أكثر ما تُعرف باسم أسلوب مونت كارلو. وكان فون نيومان وأولام[[3]](#footnote-3) 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.

# 2 منهجية محاكاة مونت كارلو: نظرة عامة

إن هذه المنهجية مناسبة لمعالجة البنود التالية في هندسة الطيف:

- دراسات التشارُك والتوافق بين الأنظمة الراديوية المختلفة العاملة في النطاقات الترددية نفسها أو المجاورة، على التوالي؛

- تقييم أقنعة المرسِل والمستقبِل؛

- 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 تعرَّف بها مَعلمات النظام. ويمكن إدخال العديد من المَعلمات المتغيرة (مثل القدرة المشعة والعلو والموقع والسمت وارتفاع هوائي المرسِل والمستقبِل) بالنظر في دالة التوزع الإحصائي الخاصة بها. لذلك تمكن نمذجة المواقف المعقدة للغاية بدوال أولية بسيطة نسبياً. وتمكن 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 بالمثال التالي الذي يحصر آلية التداخل في البث غير المطلوب. وبوجه عام، يتيح أسلوب مونت كارلو معالجة المؤثرات الأخرى الموجودة في البيئة الراديوية مثل البث خارج النطاق وحجب المستقبِل والتشكيل البيني.

وفيما يلي بعض الأمثلة على تطبيقات هذه المنهجية:

- دراسة التوافق بين الاتصالات الراديوية الرقمية المتنقلة الشخصية (PMR) (TETRA) وGSM في النطاق MHz 915؛

- دراسات التشارُك بين الخدمة الثابتة والخدمة الثابتة الساتلية؛

- دراسات التشارُك بين الأجهزة قصيرة المدى (Bluetooth) والشبكات المحلية الراديوية (RLAN) في النطاق الصناعي والعلمي والطبي (ISM) GHz 2,4؛

- دراسة التوافق للاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT 2000) وPCS1900 حول GHz 1,9؛

- 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، افتُرض عدم استيفاء النسبة الدنيا للموجة الحاملة إلى التداخل، *C/I*، عند دخل المستقبِل. ولحساب نسبة الموجة الحاملة إلى التداخل *(C/I)* التي يلمسها المستقبِل، 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 المستقبِل 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 مستقبِل تلفزيوني وأجهزة اتصالات راديوية محمولة



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

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

جهاز اتصالات راديوية متنقل خلال مكالمة

جهاز اتصالات راديوية متنقل بأسلوب الاستقبال فقط

إشارة مطلوبة

مستقبِل  
يتعرض للتداخل

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

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

الشكل 2

مثال إعداد عملية تقييم وفق منهجية مونت كارلو



المستوى المطلوب لبث هامشي

احتمالات تداخل مقبول لخدمة

**مخطط توزع مستويات مسببة لتداخل يمكن تحملها**

مسبب تداخل

أقصى قدرة مسببة لتداخل يمكن تحملها من أكثر مسببي التداخل تأثيراً في تجربة

خسائر الهوائي

متوسط خسارة الانتشار ضمن مدى أكثر مسببي التداخل تأثيراً في بيئة معيَّنة

خسائر متفرقة كخسائر الجدران

أقصى مستوى تداخل يمكن أن يتحمله المستقبِل

خسارة التوزع أو توزع إشارة غير مطلوبة

خسارة التغطية جراء آليات أخرى

قيمة تجربة مونت كارلو

مستوى الحساسية

توزع إشارة غير مطلوبة

مستقبِل

وبالنسبة للعديد من مسببات التداخل المحيطة بالمتعرِّض 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 توزع 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

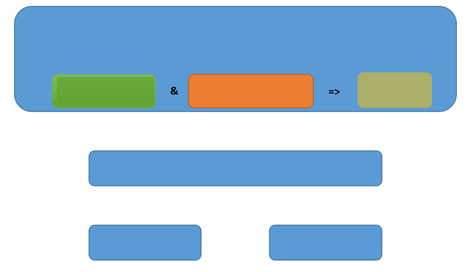
يتمثل أحد المتطلبات الرئيسية في اختيار مثل هذا الهيكل المعماري لأداة محاكاة من شأنه أن يتميز بمرونة كافية لاستيعاب تحليل سيناريوهات تداخل مركب تضم مزيجاً من المعدات الراديوية التي تتشارك في نفس الموئل و/أو مصادر التداخل المتعددة (من قبيل البث خارج النطاق، البث الهامشي، التشكيل البيني، ...) وتمكن معالجتها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



نموذج انتشار مضاف مساعد

نظام مضاف مساعد

هوائي مضاف مساعد

نتائج

محاكاة المتعرض للتداخل

محاكاة المسبب للتداخل

**محرك محاكاة التداخل**

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

## 1.3 محرك إنشاء الأحداث

يأخذ المتعرِّض والمسبب (المسببات) للتداخل الأنظمة المقابلة من إعدادات مكان العمل.

ويقوم محرك محاكاة التداخل بما يلي:

- محاكاة المتعرِّض 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 للمرسِل الأول مع البث الهامشي للمرسِل الثاني وينتج تداخلاً من نمط التشكيل البيني).

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 المرسِل:

- البث غير المطلوب (الهامشي وخارج النطاق)؛

- ضوضاء النطاق الواسع؛

- التشكيل البيني؛

- القناة المجاورة؛

- القناة المشتركة.

ظواهر تداخل المستقبِل:

- البث الهامشي.

ضوضاء الخلفية:

- ضوضاء الهوائي؛

- ضوضاء من صنع الإنسان.

مَعلمات أخرى لإمكانية تعرُّض المستقبِل لتداخل:

- الحجب؛

- التحميل الزائد؛

- نبذ التشكيل البيني؛

- نبذ القناة المجاورة والقناة المشتركة؛

- نبذ الاستجابة الهامشية.

ويمكن تصنيف جميع المصادر المذكورة أعلاه ضمن ثلاث فئات لآلية التداخل العامة: البث غير المطلوب والتشكيل البيني وإمكانية تعرُّض المستقبِل. وتتطلب كل فئة من الفئات الثلاث المذكورة أعلاه نموذجاً مختلفاً للعمليات الفيزيائية المميزة لآلية التداخل هذه. ويمكن اعتبار الضوضاء من صنع الإنسان وضوضاء حرارة الهوائي زيادةً في مستوى الضوضاء الحرارية تخفض حساسية المستقبِل، ويمكن إدخالها في المحاكاة عندما تكون معايير التداخل *I/N* (نسبة التداخل إلى الضوضاء) أو *C*/(*I* + *N*) (نسبة الإشارة المطلوبة إلى التداخل + الضوضاء).[[4]](#footnote-4)

## 2.3 حسابات التداخل

تجرى حسابات التداخل في أداة SEAMCAT بواسطة إضافة مساعدة تطبق 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.

- الترجمة

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

ويمكن لكلا الأسلوبين الجمع بين كل من النتائج المتولدة من البث غير المطلوب، والحجب، والتشكيل البيني والحمولة الزائدة.

ويرد مزيد من التفاصيل عن كيفية إجراء حسابات التداخل في الملحق 4.

الملحق 1  
  
قائمة مَعلمات الدخل

في السيناريو التخطيطي الموضح في الشكل أدناه، يتلقى مستقبِل النظام المتعرِّض للتداخل (مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل، VLR) إشارته المطلوبة من المرسِل المقابل (مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل، VLT). ويعمل مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل بين مجموعة من مرسِل واحد مسبب للتداخل أو أكثر (مرسِلات وصلة التداخل، ILT). وبالتالي، يحصل مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل على الإشارة (الإشارات) المسببة للتداخل الناشئة عن مرسِل (مرسِلات) التداخل، على النحو الموضح في الشكل 4 أدناه.

الشكل 4

سيناريو التوافق التخطيطي



مرسِل متعرِّض للتداخل

مرسِل مسبب للتداخل

إشارة مطلوبة

إشارة مسببة للتداخل

مستقبِل متعرِّض للتداخل

مستقبِل مسبب للتداخل

وتطبَّق القواعد التالية:

- يستخدم الحرف الكبير لدالة توزع، *P* على سبيل المثال؛

- والحرف الصغير هو متغير (نتيجة حساب أو تجربة)، *p* على سبيل المثال؛

- ويشير المؤشر إلى جهة فاعلة:

• بالنسبة **للنظام المطلوب**: مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (VLT) ومستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (VLR)

• وبالنسبة **للنظام المسبب للتداخل**: مرسِل وصلة التداخل (ILT) ومستقبِل وصلة التداخل (ILR)

مَعلمات مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (VLT أو المرسِل المطلوب)

: توزع مستوى القدرة لمختلف المرسِلات (dBm)؛

: عينة مستوى القدرة المأخوذة من التوزع أعلاه (dBm)؛

: أقصى كسب للهوائي (dBi)؛

*patternVLT*:اتجاهية الهوائي ضمن عرض نطاق التشغيل (dB) (مقدَمة كدالة أو جدول بحث)؛

Φ*VLT*: توزع سمت الهوائي (1/°)؛

θ*VLT*: توزع ارتفاع الهوائي (1/°)؛

*HVLT*: توزع علو الهوائي (1/m)؛

: نصف قطر تغطية مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (km) (غير مطلوب من نقطة إلى نقطة).



مَعلمات مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (VLR)

*C*/*I* أو *C*/(*N+I*) أو (*N+I*)/*N* أو *I/N*: نسبة الحماية (dB)؛

: أقصى كسب للهوائي (dBi)؛



*patternVLR*: اتجاهية الهوائي ضمن عرض نطاق التشغيل (dB) (مقدَمة كدالة أو جدول بحث)؛

*HVLR*: توزع علو الهوائي (1/m)؛

*block*: استجابة المستقبِل الترددية (dB)؛

*aVLR*: يعبَّر عن خاصية إمكانية تعرُّض المستقبِل كنسبة بين المستويات المطلوبة للإشارة المسببة للتداخل التي تنتج أداءً غير مقبول للمستقبِل وهي n بوصفها دالة للفصل الترددي بين الإشارتين؛

*intermod*: استجابة التشكيل البيني للمستقبِل (dB)

واستجابة التشكيل البيني هي مقياس لقدرة المستقبِل على استقبال إشارة مشكَّلة مطلوبة دون الهبوط تحت تردٍ معين بسبب وجود إشارتين غير مطلوبتين لهما علاقة ترددية معينة مع تردد الإشارة المطلوبة؛

*fVLR*: التردد (MHz)؛

*sensVLR*: حساسية مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (dBm)؛

*bVLR*: عرض نطاق مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (kHz).

مَعلمات مرسِل وصلة التداخل (ILT)

: توزع مستوى قدرة مختلف المرسِلات (dBm)؛



: عتبة التحكم في القدرة (dBm)؛



: المدى الدينامي للتحكم في القدرة (dB)؛



: مدى خطوة التحكم في القدرة (dB)؛



: أقصى كسب للهوائي (dBi)؛



: نصف قطر تغطية مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (km)؛



: نصف قطر المساحة التي تنتشر فيها مسببات التداخل (km)؛



*d*0: الحد الأدنى من الحماية في المسافة (km) بين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومرسِل الوصلة المسببة للتداخل؛

*patternILT*: اتجاهية الهوائي (dB) (مقدَمة كدالة أو جدول بحث)؛

*emission\_relILT*: قناع 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\_floorILT*: أرضية البث المطلقة (dBm/(عرض النطاق المرجعي)) وهي لا تُستخدم إلا لمسبب التداخل (البث غير المطلوب الذي يمكن بثه بأقل قدرة ممكنة للمرسِل).

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

*fILT*: التردد (MHz)؛

*densILT*: الكثافة (1/km2)؛

: احتمال الإرسال (%)، وهو وصف إحصائي لأنشطة المرسِل يُحسب متوسطها من عدد كبير من المستخدمين وخلال فترة زمنية طويلة؛



*tempILT*: دالة تغير النشاط الزمني المقيَّسة للوقت خلال يوم (1/ساعة (h)) (عامل النشاط).

مَعلمات مستقبِل وصلة التداخل (ILR أو المستقبِل المطلوب) العائدة إلى مرسِل وصلة التداخل

: أقصى كسب للهوائي (dBi)؛



*patternILR*: اتجاهية الهوائي (dB) (مقدمة كدالة أو جدول بحث)؛

*HILR*: توزع علو الهوائي (1/m)؛

*sensILR*: الحساسية الدينامية لمستقبِل الوصلة المسببة للتداخل، مع مراعاة هامش الخبو السريع والتداخل داخل النظام (dBm).

مَعلمات البيئة والانتشار

*fpropag*: قانون الانتشار (متوسط الخسارة + التغير) (يرد في المرفق 1 بالملحق 2)؛

*fmedian*: قانون الانتشار (متوسط الخسارة فقط) (يرد في المرفق 1 بالملحق 2)؛

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

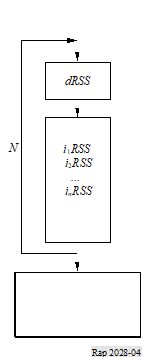
الملحق 2  
  
محرك إنشاء الأحداث

مقدمة

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

الشكل 5

المخطط الوظيفي العام لمحرك إنشاء الأحداث (EGE)



متجهات صفيف ... عددها *N*

*dRSS* and *iRiSS*

المدخلات

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

المخرجات

*dRSS*: شدة الإشارة المستقبَلة المطلوبة (dBm)

*iRSSspur*: شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب (dBm)

*iRSSblocking*: شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بسبب الحجب (dBm)

*iRSSintermod*: شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بسبب التشكيل البيني (dBm)

الشكل 6

مختلف الجهات الفاعلة المشاركة في محرك إنشاء الأحداث (EGE)



حساب

في هذا القسم:

- تمثل *T* تجربة من توزع معين (خوارزمية موصوفة في المرفق 4).

- التوزعات *U*(0,1) و*G*(σ) و *R*(σ)عرَّفة في المرفق 3.

- يرد المخطط الوظيفي لحساب *dRSS* في المرفق 5، وترد المخططات الوظيفية لحسابات *iRSS* في التذييلين 6 و8.

**الملاحظة 1** - تطبَّق المسافات  بين المرسِلات والمستقبِلات بوحدة الكيلومتر (km).

 أ ) حساب *dRSS*

هناك ثلاثة خيارات مختلفة لتحديد *dRSS*: اعتماداً على مسافة متغيرة، أو لمسافة ثابتة أو باستخدام توزع إشارة معين (انظر المرفق 5).

حالة المسافة المتغيرة:



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

*dRSS* = min(*dRSS*, *DRSSmax*)        على النحو المحسوب قبلاً

حيث:

*fVLR*: التردد المستقبَل في مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



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

 أقصى توزع لمستوى قدرة يورَّد إلى هوائي مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



: خسارة المسير بين مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة) حسبما إذا كانت معايير التداخل ستنطبق على *dRSS* الآنية (باستبعاد خبو رايلي) أو على متوسط *dRSS*



أو



حيث:

*hVLR*: علو هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



مثال: 

*hVLT*: علو هوائي مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



مثال: 

: المسافة بين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



من قبيل: 

تُعتبر ثلاثة خيارات مختلفة لنصف القطر :

*الخيار 1*: المسافة المحددة 

*الخيار 2*: شبكة محدودة الضوضاء

 يتحدد بالمعادلة التالية:



حيث:

*fmedian*: خسارة الانتشار التي لا تشمل الخبو البطيء

*fslowfading*(*X*%): هامش الخبو المستخدم لخسارة تغطية 1-*X*%.

وفي حالة الخبو اللوغاريتمي العادي وخسارة تغطية بنسبة %95 عند حافة التغطية، على مسافات طويلة، تُعرَف قيمة *fslowfading* جيداً على أنها جداء 1,64 والانحراف المعياري لخسارة الانتشار. ويرد في المرفق 11 مزيد من تفاصيل تحديد مقاس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء.

*الخيار 3*: شبكة محدودة الحركة



*gVLT*→*VLR*: كسب هوائي مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل في اتجاه مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



حيث:

(θ*VLT*→*VLR*,ϕ*VLT*→*VLR*): زاويتا السمت والارتفاع بين قمة هوائي مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل وقمة هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل:

مثال: 



ولحساب كسب مخططات إشعاع الهوائي المتناظرة، انظر المرفق 12.

*gVLR**VLT* : كسب هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل في اتجاه مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



حالة المسافات الثابتة:

: توزع القدرة الاسمي

: توزع الخبو



*حالة dRSS معينة*: توزع يعطى من المستخدم.

ب) حساب *iRSSblock*

حيث تعطى إشارة مسبب التداخل رقم *j* بالمعادلة التالية:



وحيث في كل مسبب تداخل:

*fILT*: تردد إرسال مسبب التداخل



ولمعرفة توزع التردد المنفصل، انظر المرفق 3.

ويتضح أن تجربة تردد *dRSS*، *fVLR*، لا تحدث سوى مرة واحدة في كل جولة محاكاة، أي يجرَّب *fVLR* مرة واحدة في المواقع المتعرِّضة للتداخل المطلوبة، وبشدة الإرسال المطلوبة، والتوزعات الأخرى المتعلقة بالوصلة المتعرِّضة للتداخل. ثم تطبَّق هذه القيم المجرَّبة من توزعات *dRSS* على < *N* من تجارب *iRSS* (حيث *N* هو عدد المسببات للتداخل).

وإذا أمكن الحد من عشوائية بعض المَعلمات، يمكن استخدام النموذج أيضاً ليس للمحاكاة فقط، بل أيضاً لإجراء حسابات أدق. وتتيح هذه الميزة التحقق بسهولة من صحة نتائج المحاكاة.

: القدرة القصوى المزودة لهوائي مرسِل وصلة التداخل (قبل التحكم في القدرة)



: كسب التحكم في القدرة لمرسِل الوصلة المسببة للتداخل



حيث:

*fpc*: دالة التحكم في القدرة (الواردة في المرفق 2)

*plILT*↔*ILR*: خسارة المسير بين مرسِل الوصلة المسببة للتداخل ومستقبِل 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):



أو



حيث:

*hILR*: علو هوائي مستقبِل الوصلة المسببة للتداخل



مثال: 

*hILT*: علو هوائي مرسِل الوصلة المسببة للتداخل



مثال: 

: المسافة بين مرسِل وصلة التداخل ومستقبِل وصلة التداخل



مثال: 

تُختار ثلاثة خيارات مختلفة لنصف القطر :

*الخيار 1:*  المسافة المحددة 

*الخيار 2:* شبكة محدودة الضوضاء

*الخيار 3:* شبكة محدودة الحركة

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

*gILT*→*ILR*: كسب هوائي مرسِل وصلة التداخل في اتجاه أقرب محطة قاعدة



حيث:

 زاويتا السمت والارتفاع بين قمة هوائي مرسِل وصلة التداخل وقمة هوائي مستقبِل وصلة التداخل

مثال: 



ولحساب كسب مخططات إشعاع الهوائي المتناظرة، انظر المرفق 12.

*gILR*→*ILT*: كسب هوائي محطة القاعدة في اتجاه مرسِل وصلة التداخل



**: خسارة المسير بين مرسِل وصلة التداخل *i* ومستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة).



أو



ويعتمد الاختيار بين *fmedian* و *fpropag* على معايير التداخل، ويرتبط ارتباطاً وثيقاً بما يقع عليه الاختيار لتقييم *dRSS*، من قبيل ما إذا كان محرك حساب التداخل (ICE) سيقيِّم:



حيث:

*hVLR*: علو هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (معرّف في حساب *dRSS*)

*hILT*: علو هوائي مرسِل الوصلة المسببة للتداخل (معرّف سابقاً)

: المسافة بين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومرسِل الوصلة المسببة للتداخل.

وتوجد ثلاثة طرق مختلفة لاختيار :

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

عندئذ  هي نتيجة تجربة:



حيث:

*Rsimu*: نصف قطر المساحة التي تنتشر فيها مسببات التداخل



حيث:

*n active*: عدد مسببات التداخل النشطة قيد النظر في المحاكاة

:كثافة مرسِلات وصلة التداخل، ILT، (أي مسببات تداخل نشطة عددها *n*/km2). وينبغي أن تكون كبيرة بما يكفي كي تُهمَل قدرة التداخل الإضافية التي يجلبها مسبب التداخل رقم *n* +1.



وإذا توفر الحد الأدنى من الحماية، *dILT*↔*VLR* ≥ *d*0، بين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومرسِل الوصلة المسببة للتداخل، فإن *Rsimu* يؤدي إلى:



علماً بأن كل تجربة تحقق المتراجحة *dILT*↔*VLR* < *d*0 يجب رفضها وتكرارها في تجربة أخرى تحقق المتراجحة *dILT*↔*VLR* ≥ *d*0.

وعلماً بوجوب اختيار توزع منتظم لمرسِل وصلة التداخل إذا كانت مسافة الحماية 0 < *d*0.

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

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

وتجرى تجربة (إذا لم تكن المسافة ثابتة) للمسافات والزوايا بين العنصرين المتلازمين ( على سبيل المثال). وتمَكن معرفة  من اشتقاق الإحداثيات المفقودة، ( على سبيل المثال).

الشكل 7

سيناريو التداخل بالتلازم الجغرافي بين الأنظمة المتعرِّضة للتداخل والأنظمة المسببة للتداخل

ILR

VLR

VLT

ILT

*d*VLT, VLR θVLT, VLR

*d*ILT, ILR θILT, ILR

dILT, VLR θILT, VLR

3 أقرب مسبب للتداخل

يمكن تقدير تأثير أقرب مسبب للتداخل من خلال وجود مسافة *dILT*↔*VLR* باتباع توزع رايلي *R*(σ) المعرَّف في المرفق 3 بالملحق 2 وحيث ترتبط المعلمة σ بكثافة المرسِلات. وهذا أسلوب بديل لحساب الموقع النسبي لمرسِل الوصلة المسببة للتداخل (ILT) فيما يتعلق بمستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (VLR) في الأسلوب غير المتلازم، وينبغي أن يتجنب إجراء تجارب متعددة على عدد المسببات للتداخل.

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



حيث يرتبط الانحراف المعياري σ بكثافة المرسِلات النشطة:



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



**: كسب هوائي مرسِل الوصلة المسببة للتداخل في اتجاه مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



حيث:

: زاويتا السمت والارتفاع بين قمة أقرب هوائي لمرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل وقمة هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل

مثال: 



*aVLR*( *fILT*,  *fVLR*): توهين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل.

ويُنظر في ثلاث طرق ممكنة لحساب هذا التوهين:

1 يعطى *aVLR* من المستخدم.

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



3 يُعطى الحجب بدلالة المستوى المطلق للحجب:



وتُتوخى حالتان:

*الحالة 1*: *الحجب* هو قناع يشكل دالة  تطبَّق لتمكين حسابات التداخل بين الأنظمة في النطاقات المجاورة؛

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

**: كسب هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل في اتجاه مرسِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



ج) حساب *iRSSspur*



حيث تُعرّف إشارة مسبب التداخل رقم *j* على النحو التالي:



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

*emissionILT*( *fILT*, *fVLR*): قناع البث من مرسِل 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*\_*relILT* : قناع بث نسبي يشكل دالة Δ *f* = ( *fILT*, *fVLR*) تطبَّق لتمكين حسابات التداخل بين الأنظمة في النطاقات نفسها أو المجاورة. ودائماً ما يكون البث الحقيقي أكبر من أو يساوي أرضية البث المطلقة *floorILT*( *fILT*, *fVLR*)

: كسب التحكم في القدرة لمرسِل الوصلة المسببة للتداخل (معرّف في ب))

**: خسارة المسير بين مرسِل الوصلة المسببة للتداخل ومستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (تؤخذ في الحسبان خسارة الانتشار، وخسارتا الخبو البطيء والجلبة).



حيث:

**: علو هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (معرّف في حساب )

**: علو هوائي مرسِل الوصلة المسببة للتداخل (معرّف في ب))

**: المسافة بين مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل ومرسِل الوصلة المسببة للتداخل (المعرفة في ب))

**: كسب هوائي مرسِل الوصلة المسببة للتداخل في اتجاه مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل



حيث:

: زاويتا السمت والارتفاع بين قمة أقرب هوائي لمرسِل الوصلة المسببة للتداخل وقمة هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل (المعرفة في ب))

**: كسب هوائي مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل في اتجاه مرسِل الوصلة المسببة للتداخل



د ) حساب *iRSSintermod*





حيث:

:  حصيلة التشكيل البيني من الدرجة الثالثة عند التردد *f*0:



يرسل المرسل المسبب للتداخل رقم *i* على التردد والمرسل المسبب للتداخل رقم *j* على التردد b) ، الذي يعرِّف  وينتج . وبافتراض مرشاح مثالي (عامل تناقص 0)، لا يجب النظر في حصيلة التشكيل البيني إلا في عرض النطاق *b*.



وفي جميع الحالات الأخرى، يمكن تجاهل حصيلة التشكيل البيني.

: القدرة المستقبِلة في مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل بسبب مسبب التداخل *k* = *i* على التردد *fILT* *أو* مسبب التداخل *k* = *j* at *fILT, j*



وتعرَّف المَعلمات المختلفة في الفقرات من أ) إلى ج) السابقة. ولحساب  يمكن استخدام نفس الخوارزميات على النحو الموضح في المرفق 6 لأن  تقابل .

*intermod*: استجابة التشكيل البيني للمستقبِل لإشارة مطلوبة نسبتها dB 3 فوق الحساسية.

وتُتوخى حالتان:

*الحالة 1*: تعطى *intermod* من المستخدم، فعلى سبيل المثال القيم النمطية هي 70 dB لمعدات محطة القاعدة و65 dB للمعدات المتنقلة والمحمولة. وتستُخدم لاشتقاق حدود عامة.

*الحالة 2*: تُقاس *intermod*(Δ *f* ) كدالة Δ *f* المحالة إلى *fVLR* (انظر المرفق 9 بالملحق 2).

*sensVLR*: حساسية مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل.

المرفق 1  
بالملحق 2  
  
نموذج الانتشار

يقدَّم عدد من نماذج الانتشار في الأداة. وهي تعتمد على البيئة المختارة للسيناريوهات:

- البيئة العامة: منطقة مفتوحة أو منطقة ضواحي أو منطقة حضرية؛

- بيئة مسببات التداخل: داخل المباني أو في الخلاء؛

- بيئة مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل: داخل المباني أو في الخلاء.

وتقدم الأداة نماذج انتشار مدمجة فيها ولكنها تقدم أيضاً وسائل برمجة نماذج الانتشار المعرَّفة 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 | GHz 50 - MHz 100 | حتى km 10 000 | 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 والانتثار التروبوسفيري). |
| التوصية ITU-R P.525  التوهين في الفضاء الطلق |  | محدود بخط البصر | الوصلات الثابتة والأنظمة/المسيرات الأخرى حيث يمكن افتراض خط البصر المباشر. |
| التوصية ITU-R P.528 | GHz 15,5 - MHz 125 | حتى km 1 800 | خدمات الطيران والخدمات الساتلية: وصلات جو-أرض، وأرض-ساتل، وجو-جو، وساتل-ساتل. ويتراوح علو هوائي الأرض بين m 1,5 وm 1 000، وعلو هوائي الطيران بين m 1 000 وm 20 000، والنسبة المئوية للوقت بين %1 و%95 |
| التوصية ITU-R P.1411  (الفقرة 3.4) | GHz 3 - MHz 300 | حتى km 3 | انتشار بين المطاريف الواقعة بين علو أسفل السقف ومستوى الشارع القريب (يتراوح علو الهوائي بين m 1,9 إلى m 3) ويتراوح احتمال الموقع بين %1 و%99. |
| التوصية ITU-R P.1546 | GHz 3 - MHz 30 | حتى km 1 000 | خدمات إذاعية وخدمات أرضية أخرى، يُنظر فيها عادةً في الحالات التي تحتوي على هوائي إرسال منصوب على علو مرتفع. ويصل العلو الفعال هوائي المرسِل إلى m 3 000، وعلو هوائي الاستقبال فوق m 1، وتتراوح النسبة المئوية للوقت بين %1 و%50، والنسبة المئوية للموقع بين %1 و%99. |
| هاتا (Hata) الموسع | GHz 3 - MHz 30 | حتى km 40 | 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 km 100 نظراً لانحناء الأرض، ولكن من الناحية العملية يوصى باستخدامه على مسافة تصل إلى km 40. ويتراوح علو الهوائي الأقصى بين m 30 وm 200، وعلو الهوائي الأدنى بين m 1,5 وm 10. |
| هاتا الموسع للأجهزة قصيرة المدى | GHz 3 - MHz 30 | حتى m 300 | وصلات قصيرة المدى بافتراض خط البصر المباشر وتراوُح علو الهوائي بين m 1,5 وm 3. |
| الانعراج الكروي | فوق GHz 3 | 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 | GHz 2 - MHz 600 | حتى km 1 000 | مزيج من نماذج الانتشار في الفضاء الطلق وهاتا (Hata) الموسع والتوصية ITU-R P.1546 حسب المسافة بين المرسِل والمستقبِل. ويتراوح علو الهوائي الأقصى بين 30 m وm 200، وعلو الهوائي الأدنى بين m 1,5 وm 10. |
| لونغلي رايس  (Longley Rice) (ITM) | GHz 40 - MHz 20 | km 2 000 - km 1 | خسارة الإرسال الراديوي عبر التضاريس غير المنتظمة في نطاقات الموجات المترية (VHF) والموجات الديسيمترية (UHF) والموجات السنتيمترية (SHF) ويتراوح علو الهوائي بين m 0,5 وm 3 000. |
| 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 الانتثار 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

تعرِّف 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 GHz 0,1 تقريباً، مع عدم تجاوز الخسائر خلال نسب مئوية من الوقت تقع ضمن مدى المتراجحة 0,001 ≤ *p* ≤ 50% وتصل إلى حد مسافة قدره km 10 000.

وتعمل النماذج الواردة في التوصية ITU‑T R.452 بناء على الافتراض بأن كلاً من مرسِل الوصلة المسببة للتداخل والمستقبِل 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 بالأرصاد الجوية الراديوية وخصائصه الطوبوغرافية 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 المقيَّسة 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 الانتثار بالماء الجوي. وتتكون طريقة الجو الصافي من نماذج مختلفة للانعراج والانتشار الموجه/الانعكاس على الطبقات والانتثار 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 مَعلمات نموذج الانتشار هذا:

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

- تركيز الماء (g/m3)

- ضغط السطح (hPa): قيمته المبدئية hPa 1 013,25

- تدرج معامل الانكسار (N-units/km)

- حرارة السطح (درجات مئوية): قيمتها المبدئية 15 درجة

- خط عرض المرسِل والمستقبِل (بالدرجات)

- خسارة الجلبة الإضافية عند المرسِل والمستقبِل (dB)

- كسبا الهوائي عند المرسِل والمستقبِل (dBi)

- انكسارية سطح البحر (وحدات N)

- النسبة المئوية للوقت (%): %50 ≥ *p* ≥ 0,001

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

- علو هوائي المرسِل (فوق الأرض)، (m)

- علو هوائي المستقبِل (فوق الأرض)، (m)

- التردد (GHz): %50 ≥ *f* ≥ GHz 0,1

- المسافة (km): km 10 000 ≥ *d*

# 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:



حيث:

*f*: التردد (MHz)

*ht*: علو هوائي المرسِل فوق الأرض (m)

*hr*: علو هوائي المستقبِل فوق الأرض (m)

*d*: المسافة بين المرسِل والمستقبِل (km).

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



حيث:

*L*: خسارة المسير المتوسطة (dB)

σ: الانحراف المعياري لتوزع الخبو البطيء (dB).

وفي الحالة الخاصة حيث *ht = hr*، نحصل على خسارة الإرسال في الفضاء الطلق بين نقطتين، على النحو الموصَّف في التوصية ITU-R P.525:



# 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 MHz 15 500-125 لخدمات الطيران والخدمات الساتلية. وتستخدم هذه الطريقة طريقة استكمال داخلي للبيانات الأساسية لخسارة الإرسال من مجموعات من المنحنيات. وتصلح مجموعات المنحنيات هذه لوصلات أرض-جو وأرض-ساتل وجو-جو 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 لهوائي (الأرض) فوق متوسط مستوى سطح البحر (m): m 1 000 ≥ *h*1 ≥ m 1,5

- أقصى علو للهوائي (الطيران) فوق متوسط مستوى سطح البحر (m): m 20 000 ≥ *h*2 ≥ m 1 000

- التردد (MHz): MHz 15 500 ≥ *f* ≥ MHz 125

- النسبة المئوية للوقت الذي يُتطلب فيه التنبؤ (%): %95 ≥ *pt* ≥ %1

- المسافة (km): km 1 800 ≥ *d* ≥ 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 الديسيمترية (من MHz 300 إلى GHz 3)، لعلو هوائي مرسِل ومستقبِل يتراوح بين m 1,9 وm 3، 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 وNLoS. ويحتوي النموذج على إحصاءات عن تغاير الموقع في المنطقتين، ويعطي نموذجاً إحصائياً لمسافة الانعطاف بين المنطقتين LoS وNLoS.

وترد أدناه مَعلمات نموذج الانتشار هذا:

- البيئة العامة: مناطق الضواحي، المناطق الحضرية، المناطق الحضرية الكثيفة/ذات المباني المرتفعة

- النسبة المئوية للمواقع %99 ≥ *ps* ≥ %1

- عرض المنطقة الانتقالية (m): متوسط عرض الشارع 15 m كقيمة نمطية

- التردد (MHz) : MHz 3 000≥ *f* ≥ MHz 300

- علو هوائي المرسِل (m) m 3 ≥ *ht* ≥ m 1,9

- علو هوائي المستقبِل (m) m 3 ≥ *hr* ≥ m 1,9

- المسافة (km): km 3 ≥ *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 MHz 30 إلى MHz 3 000 وعلى مسافات تصل إلى km 1 000. 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 مَعلمات نموذج الانتشار هذا:

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

- النسبة المئوية للوقت (%): %50 ≥ *pt* ≥ %1، وفي *p*r %50 > *pt* تُضبط بنسبة %50

- نظام الإرسال: تماثلي/رقمي

- عرض نطاق المرسِل: *Bt*

- البيئة الشاملة: ريفية وضواحي وحضرية.

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

- العلو الفعال لهوائي المرسِل (m): m 3 000 ≥ *ht* ≥ m 0

- علو هوائي المستقبِل (فوق الأرض)، (m): m 3 000 ≥ *hr* ≥ m 1

- التردد (MHz): MHz 3 000 ≥ *f* ≥ MHz 30

- المسافة (km): km 1 000 ≥ *d* ≥ km 0,001

وترد منحنيات الانتشار المشتقة للإذاعة في التوصية ITU-R P.1546، التي تستند إلى التوصية ITU-R P.370 السابقة: مجموعة شدة المجال المستقبَلة، *E* (dB(μV/m))، المقيَّسة على قدرة إرسال kW e.r.p. 1. 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:



حيث:

*pl*: 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، *pL*، بما في ذلك تغير المواقع كمجموع خسارة المسير المتوسطة وتوزع غوسي:



# 6 نموذج هاتا (Hata) الموسع

يحسب نموذج هاتا (Hata) الموسع خسارة الانتشار بين المرسِل والمستقبِل على النحو التالي:



حيث:

*L*: خسارة الانتشار المتوسطة (dB)

σ: الانحراف المعياري لتوزع الخبو البطيء (dB)

*f*: التردد (MHz)

*h*1*:* علو هوائي المرسِل فوق الأرض (m)

*h*2:علو هوائي المستقبِل فوق الأرض (m)

*d*: المسافة بين المرسِل والمستقبِل (km)، ويفضل أن تقل عن km 100

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

ويتيح التعريف التالي:

*Hm*: min{*h*1, *h*2}

*Hb*: max{*h*1, *h*2}

استخدام هذا النموذج بشكل تبادلي. وإذا قل العلو *Hm* و/أو *Hb* 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 *Hm* والعلو *Hb* كليهما يقعان تحت علو الأسقف. أما الانتشار فوق السقف في حالات أخرى قهو يعني أن (العلو *Hb* يقع فوق علو الأسقف).

## 1.6 حساب خسارة المسير المتوسطة *L*

*الحالة 1:**d* ≤ 0,04 km

*الحالة 2:**d* ≥ 0,1 km

علماً بأن فيما يخص الأجهزة قصيرة المدى بحال انخفاض علو هوائي محطة القاعدة، *Hb*، يستعاض عن بالصيغة التالية:



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

*الحالة 1 الفرعية:* حضرية

MHz 150 ≥ *f* > MHz 30



MHz 1 500 ≥ *f* > MHz 150



MHz 2 000 ≥ *f* > MHz 1 500



MHz 3 000 ≥ *f* > MHz 2 000



*الحالة 2 الفرعية:* *ضواحي*



*الحالة 3 الفرعية:* *منطقة مفتوحة*



*الحالة 3*km 0,1 > *d* > km 0,04



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

## 2.6 تقييم الانحراف المعياري للتوزع اللوغاريتمي العادي

*الحالة 1:* km 0,04 ≥ *d*  
 dB 3,5 = σ

*الحالة 2:* km 0,1 ≥ *d* > km 0,04

 dB للانتشار فوق الأسقف

 dB للانتشار تحت الأسقف

*الحالة 3:* km 0,2 ≥ *d* > km 0,1

dB 12 = σ للانتشار فوق الأسقف

dB 17 = σ للانتشار تحت الأسقف

*الحالة 4:* km 0,6 ≥ *d* > km 0,2

 dB للانتشار فوق الأسقف

 dB للانتشار تحت الأسقف

*الحالة 5:*  *d* > km 0,6

dB 9 = σ

# 7 نموذج الانعراج الكروي

يستند نموذج الانتشار الكروي إلى التوصيات ITU-R P.452 وITU-R P.676 وITU R P.526[[5]](#footnote-5).

ووفقاً للتوصية ITU-R P.452، تُعطى الخسارة المتوسطة بين المرسِل والمستقبِل بالمعادلة التالية:



حيث:

: الخسارة الأساسية (dB) كدالة للنسبة المئوية من الوقت، (%)

*f*: التردد (GHz)

*d*: المسافة (km)

: خسارة الانعراج (dB) كدالة للنسبة المئوية من الوقت،(%)

*Ag*: التوهين بسبب غاز وماء الغلاف الجوي (dB).

ويُعطى التوهين بسبب الغلاف الجوي بواسطة:



حيث:

: التوهين الخطي بسبب الهواء الجاف (الأكسجين) (dB/km)

: التوهين الخطي (dB/km)، بسبب الماء كدالة لتركيز الماء ρ (g/m3)، وقيمته المبدئية: 3 g/m3.

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

– التوهين بسبب الماء:

    for   *f*  < 350 GHz

– التوهين بسبب الأكسجين:

 for *f*   57 GHz  
 for    57  *f*   60 GHz  
 for    60 20 *f*   63 GHz  
 for *f*  > 63 GHz

علماً بأن استكمالاً داخلياً خطياً يُستخدم للتبسيط بين 57 وGHz 63. والتوهين الأقصى هو dB/km 15 على التردد GHz 60.

ووفقاً للتوصية ITU-R P.526، يمكن اشتقاق خسارة الانعراج، *Ld* ( *p*)، من شدة المجال المستقبَلة، *E*، المشار إليها في الفضاء الطلق، *E*0:



حيث:

*X*: المسير الراديوي المقيَّس بين المرسِل والمستقبِل

*Y*1: علو هوائي المرسِل المقيَّس

*Y*2: علو هوائي المستقبِل المقيَّس:





حيث:

β: معلمة مشتقة من عامل سماحية الأرض *K*: 1 = β من أجل MHz 20 < *f*

*f*: التردد (MHz)

*ae*: نصف قطر الأرض المكافئ (km) (انظر التعريف أدناه)

*d*: المسافة (km)

*hi*: علو الهوائي فوق الأرض (m) حيث 1 = *i* أو 2 للمرسِل أو المستقبِل، على التوالي.

ويعبَّر عن الحد المعتمد على المسافة *F*(*X* ) بالصيغة شبه التجريبية:



ويحصَّل كسب علو الهوائي *G*(*Y*) من خلال مجموعة الصيغ التالية:

 for *Y* ≥ 2

 for 10 *K*  ≤ *Y*  2

 for *K*/10  ≤ *Y*  10 *K*

 for *Y* < *K*/10

حيث:

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

علماً بأن وحدات مختلفة تُستخدم للتردد.

ويقدَّم الاختلاف في خسارة المسير من خلال تغاير نصف قطر الأرض المكافئ، *ae*، (km) الذي يعتمد على النسبة المئوية للوقت *p*:



ويعبَّر عن عامل نصف قطر الأرض  كما يلي:

 for   *p*  50%

 for   *p* > 50%

و



حيث:

Δ*N*: متوسط تدرج البيانات الوصفية للانكسار الراديوي على طبقة 1 km من الغلاف الجوي من السطح. والقيمة المبدئية هي 40 N-units/kmلأوروبا (الغلاف الجوي المعياري). وتؤدي هذه القيمة إلى *k*50 ≈ 4/3 و*ae* = km 8 500.

**الملاحظة** 1 - متوسط التدرج موجب.

β0:احتمال وجود (%) طبقة فائقة الانكسار (Δ*N* > 100 N-units/km) في الغلاف الجوي المنخفض. القيمة المبدئية: %1 لأوروبا.

علماً بأن الاحتمالين *p* وβ0 يُرمز إليهما بـنسبة 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 GHz 3، مع توخي الحذر في استخدام الترددات الأدنى على ألا تقل عن 300 MHz بسبب مؤثرات سماحية السطح والاستقطاب.

– أُعد 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 المدمجة، يُجمع بين نماذج هاتا (Hata) الكلاسيكية للخلاء (النسخة الموسعة، انظر الفقرة 2) ونموذج الانعراج الكروي (التوصيات ITU-R P.452 وITU-R P.526 وITU-R P.676) وبين نموذج لداخل المباني. ويرد وصف توضيحي في ما يلي.

وتتكون خسارة المسير *pL* من متوسط خسارة المسير *L* والتغير الغوسي *T*(*G*(σ)) حيث σ هو الانحراف المعياري:



حيث:

*f*: التردد (MHz)

*h*1: علو هوائي المرسِل (m)

*h*2: علو هوائي المستقبِل (m)

*d*: المسافة (km)

*env*: معلمة لبيئتي المرسِل والمستقبِل

وفيما يتعلق بالانتشار بين الخلاء والخلاء، يسري ما يلي:

- سيناريو: المرسِل والمستقبِل في الخلاء معاً

- نموذج هاتا الموسع:

المتوسط: *L* (*بين الخلاء والخلاء*) = *LHata* (*بين الخلاء والخلاء*)

التغير: التغير النوعي، σ (*بين الخلاء والخلاء*) = σ*Hata*

- نموذج الانعراج الكروي:

المتوسط: *L* (*بين الخلاء والخلاء*) = *Lspherical*

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

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

- سيناريو: المرسِل داخل المباني والمستقبِل في الخلاء، أو بالعكس

- نموذج هاتا الموسع:

المتوسط: *L* (*من داخل المباني إلى الخلاء*) = *LHata* (*بين الخلاء والخلاء*) + *Lwe*

حيث *Lwe* هو التوهين بسبب الجدران الخارجية (القيمة المبدئية = dB 10).

التغير: σ (*من داخل المباني إلى الخلاء*) = 

حيث σ*add* هو الانحراف المعياري الإضافي للإشارة، وهو عادةً الانحراف المعياري للخسارة بسبب الجدران على جانب المرسل  أو المستقبل  (القيمة المبدئية: dB 5).

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

- نموذج الانعراج الكروي

المتوسط: *L* (*من داخل المباني إلى الخلاء*) = *Lspherical +* *Lwe*

التغير: σ (*من داخل المباني إلى الخلاء*) = σ*add*

ويتحدد التوزع 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 المرسِل والمستقبِل 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 المرسِل والمستقبِل في نفس المبنى أم لا. ويتحقق ذلك لحساب المتغير العشوائي في نفس المبنى (SB).

تحري شرط نفس المبنى (SB):

- (20 m) km 0,020 ≥ *d*: = SB نعم  <= *P*(نعم) = 1

- (50 m) km 0,050 ≥ *d* > km 0,020:

SB = نعم *P*(نعم) = 0,030/(*d* – 0,050)

SB = لا *P*(لا) = 1 – *P*(نعم) = 0,030/(0,020 – *d*)

- (50 m) km 0,050 < *d*: = SB لا <= *P*(نعم) = 0

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

- السيناريو: وجود المرسِل والمستقبِل في مبنيين مختلفين: *P*(نعم) = 0 أو *P*(لا) = 1

- نموذج هاتا الموسع:

المتوسط: *L* (*من داخل المباني إلى داخل المباني*) = *LHata* (*بين الخلاء والخلاء*) + 2 *Lwe*

علماً بأن الخسارة الناتجة عن جدارين خارجيين ينبغي أن تضاف.

التغير: σ (*من داخل المباني إلى داخل المباني*) = 

حيث σ*add* هو الانحراف المعياري الإضافي للإشارة كما يعطي على النحو التالي:



حيث  و هما الانحراف المعياري لخسارة الجدار على جانبي المرسِل والمستقبِل، على التوالي.

- نموذج الانعراج الكروي

المتوسط: *L* (*من داخل المباني إلى داخل المباني*) = *Lspherical* + 2*Lwe*

التغير: σ (*من داخل المباني إلى داخل المباني*) = 

ويتحدد التوزع 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 المرسِل والمستقبِل في نفس المبنى: *P*(نعم) = 1 أو *P*(لا) = 0

- نموذج الانتشار داخل المباني:

المتوسط:

*L*(*indoor – indoor*) =

حيث: 

*Lwi* : خسارة الجدار الداخلي (dB) (القيمة المبدئية = dB 5)

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

*b* : المعلمة التجريبية (القيمة المبدئية = 0,46)

*droom* : مقاس الغرفة (m) (القيمة المبدئية = m 4)

*hfloor* : علو كل طابق (m) (القيمة المبدئية = m 3)

 : للقيم الحقيقية الموجبة *x*، أكبر عدد صحيح أقل من أو يساوي *x*.

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

التغير: σ (*من داخل المباني إلى داخل المباني*) = σ*in*

تجرى تجربة التوزع اللوغاريتمي العادي باستخدام انحراف معياري يدخله المستخدم ويغطي التغير، الداخلي في المبنى، بسبب تصميم المبنى، أو أثاث الغرف، وما إلى ذلك. والقيمة المبدئية هي dB 10 = σ*in*.

# 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 وHata الموسع والتوصية ITU-R P.1546 حسب المسافة بين المرسِل والمستقبِل.

وترد أدناه مَعلمات نموذج الانتشار هذا:

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

- احتمالات الوقت (%): %1 = *pt* أو %50 = *pt*

- مسافة القطع (m): m 100 > *dcut*

- علو الجلبة المحلية (m): *Rclut*

- البيئة الشاملة: ريفية وضواحي وحضرية.

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

- علو هوائي المرسِل (m): m 200 ≥ *ht* ≥ m 30

- علو هوائي المستقبِل (m): m 10 ≥ *hr* ≥ m 1,5

- التردد (MHz): MHz 2 000 ≥ *f* ≥ MHz 600

- المسافة (km): km 1 000 ≥ *d.*

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، *pL*، بما في ذلك تأثير التظليل، كمجموع خسارة المسير المتوسطة، *L*، وتوزع غوسي:



حيث ينمذج الانحراف المعياري،، تأثير التغير:

-  على جميع المسافات في حال *Rclut* < *hr*

-  على جميع المسافات في حال *Rclut*  > *h* و*Rclut* < *ht*.

# 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 السنتيمترية (SHF). ويعتمد حساب خسارة الإشارة على النظرية الكهرمغنطيسية وعلى التحليلات الإحصائية. وقد تُمم 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 ومَعلمات المناخ الراديوي، ويأخذ في الاعتبار تغير الإشارة مع تغير الوقت والمكان بمستوى معين من الثقة.

وترد أدناه مَعلمات نموذج الانتشار هذا:

 أ ) المَعلمات 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 (m 0)، سهول (m 30)، تلال (m 90)، جبال (m 200)، جبال وعرة (m 500).

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

- 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 (%): %99–%1.

- توفر الموقع (%): %99–%1.

- مستوى الثقة (%): %99–%1.

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

- التردد (MHz): MHz 40 000 ≥ *f* ≥ MHz 20.

- علو هوائي المرسِل (m): m 3 000 ≥ *ht* ≥ m 0,5.

- علو هوائي المستقبِل (m): m 3 000 ≥ *hr* ≥ m 0,5.

- المسافة (km): km 2 000 ≥ *d* ≥ km 1.

# 11 نموذج الانتشار C من المعيارIEEE 802.11

يمكن أن يتسبب وجود المستخدمين عبر وصلة الانتشار بين المرسِل والمستقبِل في خسارة إضافية، نتيجة لخسارة ناجمة عن الجسم أو تداخل متعدد المسيرات بسبب الانتثار عن الجسم. وفي الظروف التي تعلو 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 dbp. ويُستخدم نموذج الانتشار في الفضاء الطلق (ذو الأس 2,0) للمسافات الأصغر من dbp، بينما يطبَّق الأس 3,5 للمسافات الأطول:



وتعرَّف خسارة مسير الفضاء الطلق *Lfs* المعرَّفة على أنها:



حيث:

*f*: التردد (MHz)

*ht*: علو هوائي المرسِل فوق الأرض (m)

*hr:* علو هوائي المستقبِل فوق الأرض (m)

*d*: المسافة بين المرسِل والمستقبِل (km)

*dbp*: مسافة نقطة الانقطاع عن المرسِل (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  
بالملحق 2  
  
دالة التحكم في القدرة





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

حيث يرد تعريف  و في أقسام حساب *iRSS*. و هي العتبة الدنيا (الحد الأدنى) للمستقبِل.

*الحالة 1:* 





*حالة* (*i* + 1): 





حيث *i* هو عدد صحيح يتراوح بين 1 و*n* منالخطوات =  

*حالة* (*n*\_ *steps* + 2): 





المرفق 3  
بالملحق 2  
  
تعاريف التوزع

– التوزع المنتظم: 

– التوزع الغوسي: 

– توزع رايلي: 

– التوزع المعرَّف من المستخدم: تنبغي مراعاة خيار تضمين توزع معرف من المستخدم في الأداة.

– التوزع المنفصل:

هذا توزع خاص يحده حد أدنى، *Xmin*، وحد أعلى، *Xmax*، والخطوة، S، بين العينات، *xi*. ومن الأمثلة الشائعة لمثل هذا التوزع توزع الترددات المنفصل الذي يحتوي على تباعد ثابت للقنوات.

عندئذ يعرَّف التوزع المقابل للعينةـ xi بالمعادلة التالية:



حيث:





وفي حالة التوزع المنتظم، تخصَص كل قيمة لنفس الاحتمال *P*(*xi*) = 1/*N*. وفي حالة التوزع غير المنتظم، تخصَص كل قيمة لترجيح معين *Pi* بقيد يجعل مجموع هذه الترجيحات يساوي واحداً.

المرفق 4  
بالملحق 2  
  
إنشاء الأعداد شبه العشوائية

[نوث، 1969؛ روبنشتاين، 1981]

- من التوزع المنتظم 



حيث:



*a*: مضاعِف من قبيل *a* = 16 807 أو 396 204 094 أو 950 706 376

*m*: مُعامل، من قبيل *m* = 312 – 1 = 2 147 483 647

*x*0: متجه، متغير بشكل عدد صحيح يتخذ قيمة تتراوح بين 1 و(*m* – 1).

– ومن التوزع الغوسي 



حيث:

في حال *s* ≥ 1، *d*0 

*v*1 و*v*2 هما متغيران عشوائيان مستقلان (يستخدمان متجهين مختلفين) ويتوزعان بانتظام بين -1 و+1.

– ومن توزع رايلي 



حيث:

في حال *s* ≥ 1، *d*0 

*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 التوزع التراكمي التبادلية، *cdf* –1، بالنسبة للتوزع المعرف من المستخدم، *F*، المطبق على نتيجة عينة منتظمة بين 0 و1.

        حيث          (تجربة منتظمة بين 0 و1)

الشكل 8

دالة cdf المباشرة

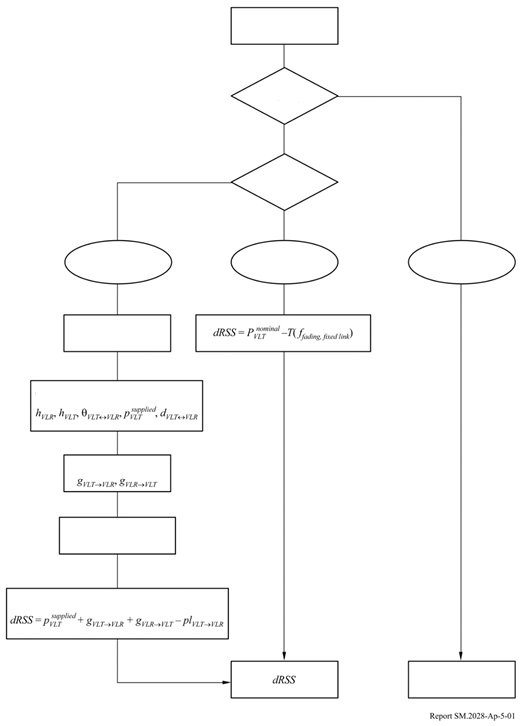


الشكل 9

مقلوب دالة cdf



المرفق 5  
بالملحق 2  
  
مخطط وظيفي لحساب شدة الإشارة المستقبَلة المطلوبة *(dRSS)*



تجربة المعلمات ذات الصلة المتعرضة للتداخل:

انتقل إلى ICE

حساب

حساب *dRSS*

حساب

حساب

إشارة مطلوبة معينة

مسافة ثابتة

مسافة متغيرة

هل للمسافة *dVLT*↔*VLR* قيمة ثابتة؟

نعم

لا

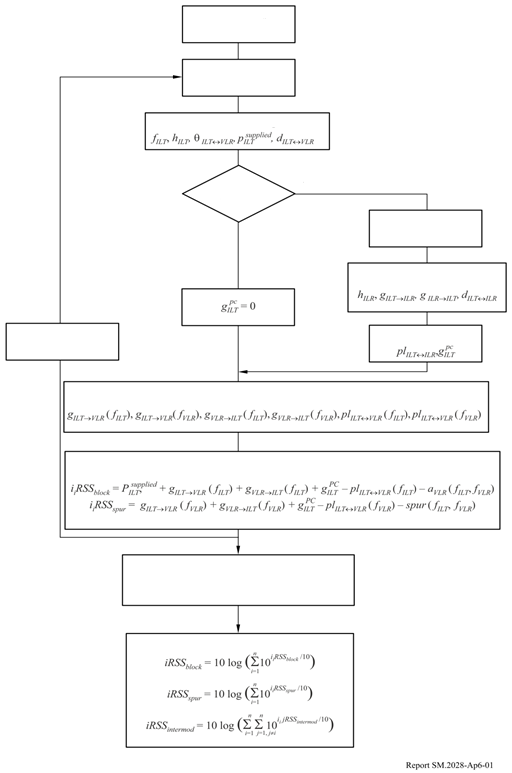
نعم

نعم

ابدأ

هل من توزع معطى للشدة *dRSS*؟

المرفق 6  
بالملحق 2  
  
حساب شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب *(iRSS)* جراء البث غير المطلوب والحجب



حساب حصيلة التشكيل البيني *iijRSSintermod* (انظر التذييل 8 للملحق 2)

حساب*:*

حساب*:*

حساب*:*

تجربة*:*

حساب

حساب

التحكم  
في القدرة

تجربة المعلمات ذات الصلة المسببة للتداخل

الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل *i* = 1، ...، *n*

حساب *Rsimi*

لا

نعم

المرفق 7  
بالملحق 2  
  
حجب المستقبِل

# 1 المفهوم الأساسي

يلتقط المستقبِل بعض الإشارات غير المطلوبة لأن المرشاح ليس مثالياً.

الشكل 10

المفهوم الأساسي



التردد

إشارة ملتقَطة غير مطلوبة

مرسِل مثالي

مرشاح المستقبِل

نسبة الحماية

الإشارة الحقيقية

أرضية الضوضاء

الافتراض

*التعريف*: الحجب هو مقياس لقدرة المستقبِل على استقبال إشارة دخل مطلوبة مشكَّلة 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 المستقبِل بما يتجاوز الحد المحدد (الوثيقة I ETS 300 113: 1992).

# 2 قياسات مستوى الحجب

- ضبط الإشارة المطلوبة عند مستوى حد نسبة الخطأ في البتات (BER).

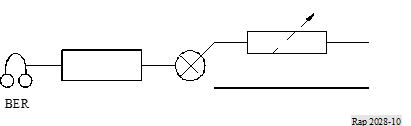
- زيادة هذه الإشارة المطلوبة بنسبة dB 3 وإضافة إشارة تداخل تزداد حتى الحصول على نفس نسبة الخطأ في البتات.

- النسبة (إشارة التداخل/لإشارة المطلوبة) هي قيمة حجب المستقبِل.

الشكل 11

إجراء القياس

موهِّن



إشارة التداخل

الإشارة المطلوبة

مستقبِل

# 3 توهين المستقبِل

أثناء إجراء القياس، تصح المعادلات الثلاث التالية:

- أرضية الضوضاء + نسبة الحماية + 3 dB = مستوى الإشارة المطلوبة،

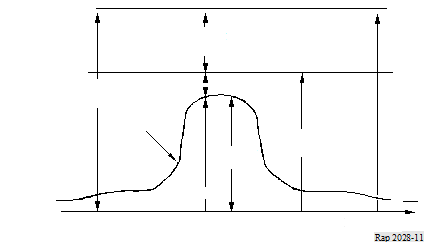
- مستوى الإشارة المطلوبة + الحجب = مستوى إشارة التداخل،

- مستوى إشارة التداخل - التوهين = أرضية الضوضاء.

وبالتالي:

|  |
| --- |
| التوهين = 3 dB + نسبة الحماية + الحجب |

الشكل 12



الحجب (dB)

الحساسية (dBm)

dB 3

مستوى إشارة التداخل(dBm)

نسبة الحماية (dB)

الإشارة المطلوبة (dBm)

التردد

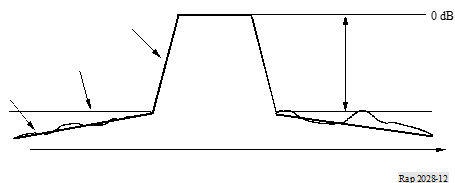
أرضية الضوضاء (dBm)

توهين المستقبِل (dB)

الإشارة المستقبَلة

الشكل 13

قناع المستقبِل



التردد

توهين المستقبِل (dB)

قناع المستقبِل

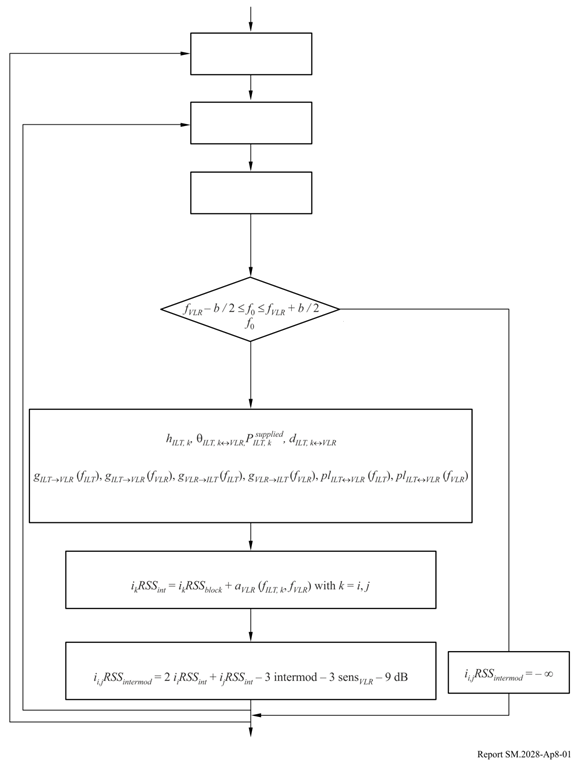
الإشارة الحقيقية

الافتراض

المرفق 8  
بالملحق 2

شدة الإشارة المستقبَلة المسببة للتداخل بما في ذلك البث غير المطلوب *(iRSS)*  
جراء التشكيل البيني

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



حساب*:*

حساب*:*

الإشارة المسببة للتداخل  
*= j* 1، ...، *n j ≠ i*

الإشارة المسببة للتداخل  
*= i* 1، ...، *n*

الترددان *f­ILT,i* و *f­ILT,j*

نعم

لا

القيم المحفوظة للمعلمات ذات الصلة المسببة للتداخل**:**

وتلك المحسوبة

حيث *i = k*، *j* (انظر التذييل 6 للملحق 2).

المرفق 9  
بالملحق 2  
  
التشكيل البيني في المستقبِل

تنشأ المساهمة الرئيسية في تداخل التشكيل البيني من الإشارات المسببة للتداخل في القنوات المجاورة بسبب الانتقائية الترددية للهوائيات ومعدات المستقبِل. ويُنظر هنا في خدمة ذات إشارة مطلوبة على التردد *f*0 وفصل بين القنوات Δ*f* وإشارتي التداخل *Ei*1 و*Ei*2 على الترددين  وعلى التوالي. وتنتج العناصر غير الخطية في المستقبِل حصيلة تشكيل بيني *Eif* من الدرجة الثالثة على ذلك التردد (انظر الشكل 14).

 (1)

الشكل 14



وتعطى شدة الإشارة  لحصيلة التشكيل البيني من خلال:

 (2)

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

 (3)

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

ويعرِّف المعيار ETS 300-113 عبر استجابة التشكيل البيني *Limr*، مستويات الإشارة المسببة للتداخل *Li*2  *Li*1 التي يبدأ عندها تسجيل أخطاء البتات الناتجة عن التشكيل البيني (انظر الشكل 15).

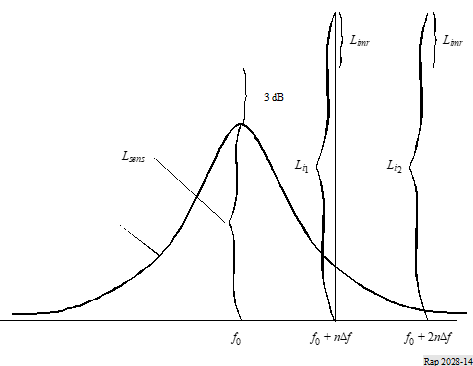
وهذا يعني، بالنسبة إلى *Li*1 و*Li*2 كما في الشكل 15، أن لدينا حصيلة تشكيل بيني *Lif* عند أرضية الضوضاء تماماً (0 dB). وعند إدخال *Li*1 و*Li*2 من الشكل 15 في المعادلة (3) نحصل على التالي:

 (4)

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

 (5)

الشكل 15



حساسية المستقبِل

مستوى الإشارة المستقبَلة المطلوبة

أرضية الضوضاء

المرفق 10  
بالملحق 2  
  
تأثير عروض النطاق المختلفة

 أ ) المسير المطلوب

يرسل مرسِل وصلة المتعرِّضة للتداخل قدرته *pVLT* (dBm) على التردد *fVLR* ضمن عرض نطاق معين *bVLR*. ويُستخدم عرض النطاق هذا أيضاً لتحديد حصيلة التشكيل البيني (انظر المرفق 8 بهذا الملحق 2).

ب) مرسِل الوصلة المسببة للتداخل

في مرسِل الوصلة المسببة للتداخل، ينبغي تعريف قناع بث، *emissionILT*، كدالة Δ *f*  = *f* – *fILT*، على أنه أقصى مستويات قدرة البث، *emissionILT* (Δ *f* )، في عرض النطاق المرجعي، (Δ *f* )، على النحو الذي يحدده المستخدم. ويمكن التعبير عن هذا القناع أيضاً كحد أقصى:

- لمجموع قدرة التداخل المورَّدة، ، 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.

ويوصَف 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.

وتُستخدم قدرة إرسال مرسِل الوصلة المسببة للتداخل (dBm) *pILT* على التردد *fILT* لتقييم ميزانية الوصلة مع مستقبِل الوصلة المسببة للتداخل (أي التحكم في القدرة).

ج) مبدأ تحديد القدرة المسببة للتداخل

الشكل 16

مبدأ تحديد القدرة المسببة للتداخل



قناع بث *Pm\_ILT*

مستقبِل يتعرض للتداخل

ويبين الشكل 16 مبدأ القدرة المسببة للتداخل. ففي حال *fVLR* = *fILT*، تقع الترددات المسببة للتداخل في نطاق استقبال مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل بالضبط (تداخل القناة المشتركة).

وللتبسيط ضمن الخوارزميات، تقيَّس دالة القناع *pmi* على عرض نطاق مرجعي قدره 1 Hz:



وعرض النطاق *b* هو عرض النطاق المستخدم لقناع البث.

ويمكن بسهولة حساب إجمالي قدرة المسببة للتداخل المستقبَلة بالتكامل عبر عرض نطاق المستقبِل من   
*a* = *fVLR* – *fILT* – *bVLR* / 2 to *b* = *fVLR* – *fILT* + *bVLR* / 2.



حيث يدل *pni* على القناع المقيَّس (dBm/Hz). وباستخدام عرض النطاق المرجعي 1 Hz ي تمكن الاستعاضة عن التكامل بجمع، فتُعطى القدرة *powerILT* بوحدة dBm:



**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 البيني.

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 يستُخدم النهج التالي:

يمكن حساب إجمالي القدرة المسببة للتداخل بالنسبة إلى الموجة الحاملة، *emission*\_*relILT*، بالتكامل عبر عرض نطاق المستقبِل من *a* = *fVLR* – *fILT* – *bVLR* / 2 to *b* = *fVLR* – *fILT* + *bVLR* / 2



حيث يدل على القناع المقيَّس (dBc/Hz) الذي يعرِّفه المستخدم.

ويُعبَّر عن هذا القناع كمصفوفة لنقاط N + 1 ويفترض أنها خطية بين هذه النقاط.



وهذا يؤدي إلى:



حيث:





وفي الحساب المتوسط:



وفي النهاية:



ه‍ـ ) أرضية البث غير المطلوب

تنطبق المعادلات المذكورة أعلاه أيضاً على أرضية البث المطلقة *emission\_ floorILT* (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:



على النحو الموضح أيضاً في الشكل 17.

الشكل 17



البث غير المطلوب المطلق المقابل لمعادلة *PILT* (dBm) + القناع (dBc) + كسب التحكم في القدرة حسب الاقتضاء)

المستوى الناتج المنظور فيه بواسطة أداة SEAMCAT

مستوى أرضية البث

التردد (MHz)

القدرة (dBm)

علماً بأن المقارنة تتضمن كسب التحكم في القدرة إذا اختير التحكم في القدرة.

وعلماً بأن أرضية البث غير المطلوب تحال إلى MHz 1 في أداة SEAMCAT.

المرفق 11  
بالملحق 2  
  
مقاس الخلية الراديوية في شبكة محدودة الضوضاء

بافتراض أن القدرة المستقبَلة تساوي حساسية مستقبِل الوصلة المتعرِّضة للتداخل، يمكن تحديد نصف قطر *Rmax* المسير الراديوي المطلوب بالمعادلة التالية:



حيث تعرَّف خسارة المسير بمتوسط الخسارة بالإضافة إلى حد إضافي يمثل التوزع:



ويمكن التعبير عن توزع خسارة المسير، *ploss*، بطريقة عامة بالمعادلة التالية:



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

عندئذ تكون المعادلة التجاوزية:



ويمكن حلها باستخدام تكرار خطي مثل طريقة الخطأ الواحد العادية:



علماً بأن تقارباً أسرع يمكن تحصيله من خلال تطبيق المسافة في المقياس اللوغاريتمي، أي يجب الاستعاضة عن المتغير *R* بلوغاريتم (*R*).

ويلاحَظ، في هذه الحالة، أن الصيغ المقدمة من أجل  يجب قلبها.

المرفق 12  
بالملحق 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)؛ يحال الكسب إلى الفص الرئيسي ويرد تعريفه بشكل منفصل في الاتجاه الأفقي كدالة لزاوية السمت (φ)، وفي الاتجاه الرأسي كدالة للارتفاع (θ)؛

3 مخطط إشعاع الهوائي الاتجاهي الكروي (dBi)؛ يحال الكسب إلى الفص الرئيسي وهو دالة للزاوية الكروية ψ، ويعرَّف بدلالة السمت والارتفاع على النحو التالي:



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:

حيث:

*g*θ,φ الكسب في الزاوية ذات الصلة

*gmax* ذروة كسب الهوائي

*gH,* φ الكسب الأفقي عند زاوية السمت φ

*gV,* θالكسب الرأسي عند زاوية الارتفاع θ.

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

حيث:

*g*θ,φ الكسب في الزاوية ذات الصلة

*gmax* ذروة كسب الهوائي

*gS* كسب الهوائي كدالة للزاوية الكروية

φزاوية السمت ذات الصلة

θزاوية الارتفاع ذات الصلة.

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 السمت والارتفاع بالنسبة للمستوي المرجعي (مثل محطات القاعدة الخلوية)؛

2 يتحدد التسديد بمَعلمات وصلة - أي توصَّف المواقع وقيم العلو (الإحداثيات x، y، z) للمرسِل والمستقبِل، 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 السمت 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

بيبليوغرافيا

الوثيقة 1-3/31(Rev.1): 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 (chi-squared) 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؛ وتُقترح خوارزمية واحدة للاستخدام ضمن محرك تقييم التوزع (DEE) لاختبار جميع الأنواع الممكنة من دوال توزع الاحتمالات.

وتُمرر 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 يجرى الآن على مجموعة كاملة من عينات *N*. فإذا أظهر الاختبار أن توزعين منفصلين يختلفان أكثر من قيمة مقبولة ومحددة مسبقاً، تُرسَل رسالة إلى محرك إنشاء الأحداث (EGE) لإنشاء بعض العينات الإضافية. وعلى العكس من ذلك، في حال استيفاء معايير مربع كاي، يستمر لمحرك تقييم التوزع في اختبار ما إذا كان يمكن استخدام دالة كثافة الاحتمالات المستمرة أم لا.

ويقدم المخطط الوظيفي في الشكل 18 مثالاً 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:

< *RSS* >: مجموعة عينات متغيرة عشوائية

*N*: حجم مجموعة العينات

*I*: عداد داخلي للقيام باختبار الاستقرار

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

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

: التجزيء - في المستوى المرجعي لاختبار مربع كاي

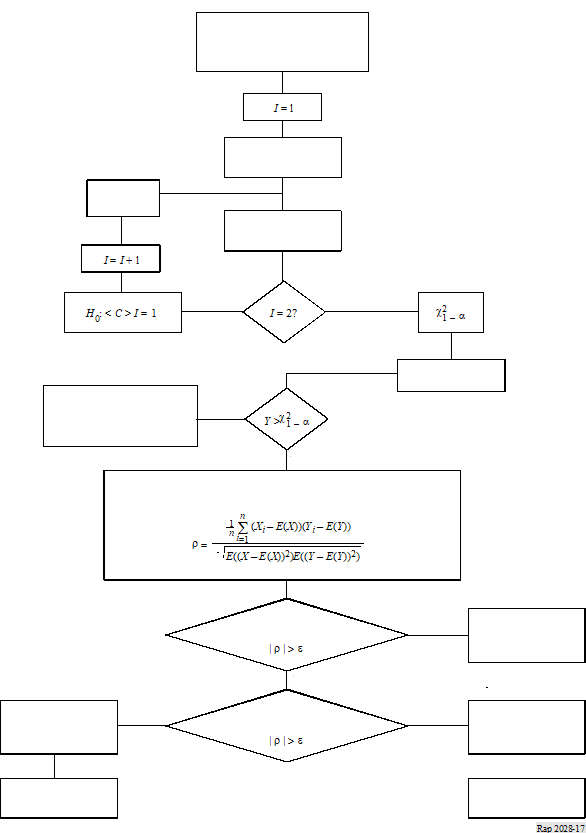
*n*: عينة العداد الكلية

< *C* >: 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)

****

الجزء 2 بشأن *dRSS* فقط

الجزء 2 بشأن *dRSS* و*iRSS*

*dRSS* ليست متجهاً وكل قيم *iRSS* هي متجهات

*dRSS* و*iRSS*ليستا متجهين

انتقل إلى محرك حساب التداخل (ICE): *dRSS* وكل قيم *iRSS* هي متجهات

نعم

لا

نعم

إذا حقق أحد أزواج *ijRSS/ iiRSS*

إذا حقق أحد أزواج *iRSS/dRSS*

حساب عامل التلازم لكل زوج من *iRSS* ولكل زوج من *iRSS/dRSS*:

نعم

لا

نعم

انتقل إلى محرك إنشاء الأحداث (EGE)، قم بإجراء تجارب إضافية

اختبار *x*2

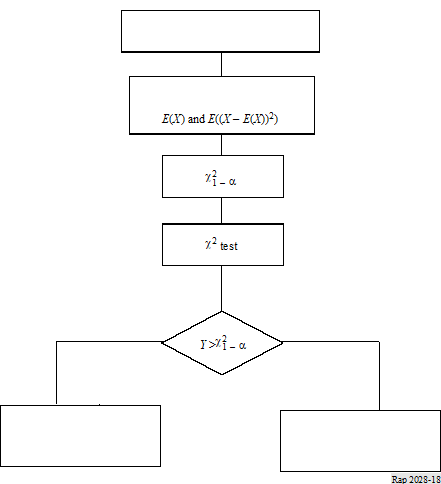
فرز

خذ عينات عددها *N*

خذ عينات عددها *N-dN*

متجهات الصفيف:  
متجهات صفيف-*N* *dRSS*/  
صفيف *iRSS* قيد الاختبار

الشكل 19



انتقل إلى محرك حساب التداخل (ICE) بتوزع غوسي

انتقل إلى محرك حساب التداخل (ICE) بتوزع منفصل

نعم

لا

حساب معلمات التوزع:

الجزء 2 من محرك تقييم التوزع (DEE): *dRSS* و/أو *iRSS*

المرفق 1  
بالملحق 3  
  
اختبار مربع كاي لحُسن الملاءمة

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

لنفترض أن *X*1*، X*2*، XN*... هي مجموعة عينات مأخوذة من دالة توزع تراكمي (cdf) مجهولة، *Fx*(*x*). يعتمد اختبار مربع كاي على اختبار الفرضية الصفرية:

*H*0:  *Fx*(*x*) = *F*0(*x*) لجميع قيم *x*     مقابل *H*1:  *Fx*(*x*) ≠ *F*0(*x*) البديلة لبعض قيم *x*

وافترض أن رصدات عددها *N* تُقرَر ضمن فئات متنافية عددها *K*. ودعنا نوضح بالرمز *Nj* عدد التجارب المرصودة في الفئة رقم *j* ( *j* = 1، 2، ...*، K*). بالإضافة إلى ذلك، دعنا نوضح بالرمز  عدد التجارب المتوقع أن تندرج في الفئة رقم *j* وفقاً لدالة توزع تراكمي (cdf) معروفة، *F*0(*x*).

ويستخدم الاختبار الفعلي المعايير التالية:



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 توزع مربع كاي في عدد *N* كبير.

ومن الناحية العملية، لكي تسود الفرضية الصفرية، *H*0، نتوقع التالي:



حيث α هو المستوى ذو الدلالة، من قبيل 0,05 أو 0,1؛ والتجزيء يقابل احتمال 1-α ويرد في الجداول لتوزع مربع كاي (انظر الجدول 2).

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

الجدول 2

التجزيء  لتوزع مربع كاي

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 – α  *K* | 0,975 | 0,95 | 0,90 | 0,75 |
| 10 | 3,25 | 3,94 | 4,86 | 6,74 |
| 20 | 9,59 | 10,85 | 12,44 | 15,45 |
| 30 | 16,79 | 18,49 | 20,60 | 24,48 |
| 40 | 24,43 | 68,51 | 29,05 | 33,66 |
| 50 | 32,36 | 34,76 | 37,69 | 42,94 |
| 60 | 40,48 | 43,19 | 46,46 | 52,29 |
| 70 | 48,76 | 51,74 | 55,33 | 61,70 |
| 80 | 57,15 | 60,39 | 64,28 | 71,14 |
| 90 | 65,65 | 69,13 | 73,29 | 80,62 |
| 100 | 74,22 | 77,93 | 82,36 | 90,13 |

المرفق 2  
بالملحق 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 التوزع المحصَّل من عينات عددها *N* – *dN* وذلك المحصَّل من عينات عددها *N* لا يختلفان بأكثر من قيمة محددة:

فأولاً، يجب اشتقاق دالتين للتوزع التراكمي من متجه صفيف الدخل:

- توزع مشتق من أول عينات *N* – *dN* في متجه الصفيف،

- توزع مشتق من متجه الصفيف الكامل (عينات عددها *N*).

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

- عتبة الاستقرار المحددة (بين 0 و1)،

- التوزع المرجعي: توزع مشتق من الصفيف-*N*،

- التوزع المختبَر: التوزع المشتق من الصفيف *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:

- *iiRSS* هي متغيرات مستقلة، حيث يقابل المؤشر *i* النمط رقم *i* من سيناريو التداخل.

- تسود إحدى قيم *iiRSS* فيما يتعلق بجميع الإشارات المسببة للتداخل.

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

 (6)

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

 (7)

ونظراً لأن *iiRSS* هي متغيرات مستقلة، يمكننا كتابة المعادلة (7) على النحو التالي:

 (8)

ويمكن بسهولة تبيان أن 1 − *PD* يعطي احتمال التعرض للتداخل.

وجميع الإشارات غير متلازمة ويعطى توزعها في شكل مغلق. فأولاً، تُحسب دالة التوزع التراكمي لإشارة التداخل المركبة من خلال دمج دوال توزع *iiRSS*. وتتحدد دالة توزع *iRSScomposite* بواسطة تقنية مونت كارلو. وأخيراً، تُحسب المعادلة (6) باستخدام صيغة الاحتمال الشرطي التي تدمج توزعات *dRSS* و*iRSScomposite*.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* أدخلت لجنة الدراسات 1 للاتصالات الراديوية في عام 2018 تعديلات صياغية على هذه المسألة طبقاً للقرار ITU-R 1. [↑](#footnote-ref-1)
2. مكتب الاتصالات الأوروبي (ECO): [www.cept.org/eco](http://www.cept.org/eco)، [eco@eco.cept.org](mailto:eco@eco.cept.org). [↑](#footnote-ref-2)
3. <http://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00326866.pdf>. [↑](#footnote-ref-3)
4. لا تنظر أداة المحاكاة SEAMCAT في جميع المصادر المذكورة آنفاً بشكل منفصل. ويُجمع بين بعض هذه المَعلمات في معلمة مشتركة، من قبيل أن يأخذ قناع البث من مرسِل في الاعتبار البث غير المطلوب (الهامشي وخارج النطاق) والقناة المجاورة. [↑](#footnote-ref-4)
5. 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. [↑](#footnote-ref-5)