

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

## التوصية ITU-R S.2029 (2012/12)

منهجية إحصائية لتقييم التداخل المتغير مع الزمن  
على شبكات الخدمة الساتلية العاملة في مدار  
مستقر بالنسبة إلى الأرض من شبكة من المحطات  
الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة  
إلى الأرض تعمل بمخططات النفاذ المتعدد  
بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA)

السلسلة S

الخدمة الثابتة الساتلية

## تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد المدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

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

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار 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 توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/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 بُعد   | RS       |
| <b>الخدمة الثابتة الساتلية</b>  | <b>S</b> |
| التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية  | SA       |
| تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة         | SF       |
| إدارة الطيف   | SM       |
| التجميع الساتلي للأخبار   | SNG      |
| إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت  | TF       |
| المفردات والمواضيع ذات الصلة  | V        |

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

النشر الإلكتروني  
جنيف، 2015

© ITU 2015

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

## التوصية ITU-R S.2029

منهجية إحصائية لتقييم التداخل المتغير مع الزمن على شبكات الخدمة الساتلية  
العاملة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض من شبكة من المحطات الأرضية  
في الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض تعمل بمخططات  
النفاز المتعدد بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA)

(المسألة ITU-R 208/4)

(2012)

## مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية منهجية إحصائية لتقييم التداخل المتغير بمرور الوقت الناجم عن شبكة من المحطات الأرضية تعمل بمخططات النفاز المتعدد بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA) على شبكة خدمة ثابتة ساتلية في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض. وتتناول هذه المنهجية التداخل المحتمل على شبكة أخرى من شبكات الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض. ويمكن استعمال هذه المنهجية أيضاً لضبط مستويات القدرة للمطاريق المسببة للتداخل بحيث لا تتأثر أهداف الأداء الخاصة بالشبكة الساتلية التي تتعرض للتداخل.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- أ) أن سواتل الخدمة الساتلية الثابتة ذات المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض مناسبة تماماً لتقديم تطبيقات الاتصالات عريضة النطاق، بما فيها خدمات الإنترنت والبيانات؛
- ب) أن الشبكات الساتلية تستخدم مجموعة متنوعة من طوبولوجيات الشبكات ومخططات النفاز المتعدد، بما في ذلك مخطط النفاز المتعدد بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA)؛
- ج) أن بعض الشبكات يمكنها دعم توصيلية متشابكة كاملة (من نقطة إلى نقطة) بمطاريق صغيرة الفتحة من خلال استخدام التشكيل الكفاء والتشفير الكفاء، وارتفاع مستويات القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) للساتل وتقنيات أخرى؛
- د) أن الضرورة تقتضي حماية شبكات الخدمة الثابتة الساتلية من أي تداخل محتمل من هذه المطاريق؛
- هـ) أن ثمة فائدة ترجى من وجود منهجيات لتقييم التداخل المتغير بمرور الوقت من شبكة خدمة ثابتة ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض على أخرى مثلها؛
- و) أن ثمة فائدة ترجى من وجود منهجيات لتقييم مستويات التداخل على الشبكات الساتلية من المحطات الأرضية التي تعمل بمخططات MF-TDMA؛
- ز) أن العديد من الخصائص التقنية لهذه الشبكات التي تؤثر على الأداء واستخدام المدار/الطيف لها خصائص تتغير بمرور الوقت وتمثل نموذجتها الفضلي بعمليات عشوائية،

وإذ تلاحظ

- أ) أن التوصية ITU-R S.1323 تورد المستويات القصوى المسموح بها للتداخل بين الشبكات من شبكات مستقرة بالنسبة إلى الأرض على شبكات الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض العاملة في نفس النطاق الترددي؛
- ب) أن التوصية ITU-R S.1323 تورد المستويات القصوى المسموح بها للتداخل بين الشبكات ومنهجية لتحديد هذا التداخل، من أنظمة غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض على شبكات الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض العاملة في نفس النطاق الترددي؛
- ج) ويقدر ذلك التداخل غير المتغير بمرور الوقت عادةً باستخدام أسلوب  $\Delta T/T$  الذي يرد وصفه في التوصية ITU-R S.738؛
- د) أن التوصية ITU-R S.1857 تورد منهجيات لتقدير مستويات كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية المنحرفة عن المحور ولتقييم التداخل المتغير بمرور الوقت على السواتل المجاورة جراء أخطاء توجيه محطة أرضية منصوبة على مركبة،

توصي

- 1 باستخدام المنهجية الواردة في الملحق لتقييم التداخل المتغير بمرور الوقت الناجم عن محطات أرضية متعددة تعمل في مخطط MF-TDMA؛
  - 2 باستخدام المنهجية المقدمة لتحديد مستويات البث المنحرف عن المحور من المحطات الأرضية المسببة للتداخل بحيث تلبى هذه المستويات أهداف الأداء للشبكة الساتلية المعرضة للتداخل؛
  - 3 باستخدام المنهجية المقدمة كي لا يُحدث نمط شبكات MF-TDMA الذي يرد وصفه في هذه التوصية تداخلاً على شبكات الخدمة الثابتة الساتلية الأخرى العاملة في نفس النطاقات الترددية بما يتجاوز المستوى المقبول لدى الإدارات؛
  - 4 بأن تُعتبر الملاحظات التالية جزءاً من هذه التوصية:
- الملاحظة 1** - تقدم المنهجية الواردة في الملحق نمطاً إحصائياً لتقييم الآثار المحتملة لتداخل شبكة MF-TDMA على شبكة مجاورة تتشارك معها في الترددات لخدمة ثابتة ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض.
- الملاحظة 2** - تمثل المعلمات والأمثلة الواردة في الملحق نظاماً افتراضياً يعمل في النطاق الترددي 30/20 GHz. ولكن يمكن أيضاً استخدام هذه المنهجية لنطاقات ترددية أخرى بعد إجراء تعديلات ملائمة في بعض المعلمات.
- الملاحظة 3** - لا تنطبق منهجية هذه التوصية على شبكات تعمل بمخططات نفاذ متعدد بتقسيم شفري (CDMA).
- الملاحظة 4** - للتحقق من صحة تمثيل النموذج الرياضي الموضح في هذه المنهجية للخصائص المتغيرة بمرور الوقت لشبكة MF-TDMA، قد يكون من المفيد الحصول على الخصائص الإحصائية للشبكات التشغيلية.
- الملاحظة 5** - يمكن الاتفاق بشكل متبادل، من خلال عملية التنسيق، على قسمة التداخل في الأجل القصير لشبكات الخدمة الساتلية العاملة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض بمخططات النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA).
- الملاحظة 6** - يمكن أن يشكل المخصص الزمني ومعايير التداخل في الأجل القصير لشبكات الخدمة الساتلية العاملة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض، موضوعاً يستدعي المزيد من الدراسة.

## الملحق

# منهجية إحصائية لتقييم التداخل المتغير مع الزمن على شبكات الخدمة الساتلية العاملة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض من شبكة من المحطات الأرضية في الخدمة الثابتة الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض تعمل بمخططات النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن - متعدد الترددات (MF-TDMA)

## 1 مقدمة

في السنوات الأخيرة، ازداد الطلب إلى حد كبير على خدمات الإنترنت الساتلية في الاتجاهين. وتقدم هذه الخدمات، وخاصةً للمستخدمين المنزليين ومستخدمي مصالح الأعمال الصغيرة، باستخدام مطاريف ساتلية صغيرة الفتحة. وعادةً، يمكن أن تكون الشبكة الساتلية الواحدة من عدد كبير من المطاريف صغيرة الفتحة المنتشرة على مساحة جغرافية واسعة. وحسب الموقع داخل الأثر الإشعاعي الساتلي، والظروف الجوية المتقلبة، ومعدلات بيانات المستخدم، يمكن أن تعمل هذه المطاريف على مجموعة من مقاسات الفتحة وقد تتطلب مستويات مختلفة من قدرة الإرسال. وللاستفادة من موارد الشبكة بكفاءة، قد تستخدم هذه الشبكات أسلوب النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن وتقسيم التردد. ومن الخصائص المميزة لمطاريف الفتحة الصغيرة كبر عروض حزم هوائياتها مما قد يسبب تداخلاً في الوصلة الصاعدة على السواتل المجاورة إن لم تُضبط مستويات قدرة الإرسال بشكلٍ صحيح. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لبعض المطاريف الصغيرة المنصوبة على المركبات الجوية/البحرية أو القطارات أو المركبات البرية وكذلك المطاريف الساكنة أن تنتج أخطاء في توجيه الهوائي قد تؤدي إلى تداخل محتمل يجب تخفيفه. وتساهم هذه التأثيرات مجتمعة في نمط من التداخل يتغير بمرور الوقت من شبكة المطاريف على جهاز استقبال متعرض في شبكة ساتلية أخرى.

ويعرض هذا الملحق نهجاً إحصائياً لتحديد التداخل على شبكة مستقرة بالنسبة إلى الأرض، من شبكة أخرى مستقرة بالنسبة إلى الأرض تضم مطاريف متعددة تعمل باستخدام مخطط نظام النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن، ومن أخطاء توجيه الهوائي. ويبحث الملحق في معيار للتداخل في الأجل الطويل وفي معايير تلبية أهداف الأداء في الأجل القصير، ويورد بعض الأمثلة لتوضيح الآثار على الشبكة الساتلية المجاورة، ويعرض نهجاً تدرجياً لكيفية حساب التداخل الناتج. ويمكن أن يستفاد من المنهجية المعروضة لتحديد مستويات البث المنحرف عن المحور من المطاريف المسببة للتداخل بحيث تلي أهداف الأداء في الأجلين القصير والطويل للنظام الساتلي الذي يتعرض للتداخل.

## 2 مكوّنات التداخل في الأجلين القصير والطويل

تتكون إشارة التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل من إشارات تنتمي إلى عدد كبير من مطاريف الإرسال من شبكة واحدة مسببة للتداخل تعمل باستخدام بروتوكول النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن. وقد تستخدم المطاريف فتحات هوائي بمختلف المقاسات ويمكن أن ترسل بمستويات قدرة مختلفة حسب مواقعها داخل الأثر الإشعاعي للحزمة الساتلية. بالإضافة إلى ذلك، قد توجد أخطاء توجيه طفيفة في هوائيات هذه المطاريف. لذلك، عندما تتسع فترة الرصد بما يكفي لاحتواء الإرسال من عدة مطاريف مسببة للتداخل، يتغير بمرور الوقت مستوى التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل.

وفي مثل هذه الحالات، لأغراض التوضيح، يمكن التعبير عن إشارة التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل،  $I_{tot}$ ، كمجموع مكون التداخل في الأجل الطويل،  $I_{long}$ ، ومكون التداخل في الأجل القصير،  $I_{short}$ ، بحيث  $I_{tot} = I_{long} + I_{short}$ . ويتنبأ مكون التداخل في الأجل الطويل على مدى فترات زمنية قصيرة ولكنه قد يتغير تغيرات طفيفة عند رصده على مدى فترات زمنية طويلة (بمحدود عدة دقائق). وتنتج هذه التغيرات ذات الطبيعة الإحصائية عن الخصائص المتغيرة ببطء لإشارات الإرسال. ومن ناحية أخرى، يعود مكون التداخل في الأجل القصير إلى إرسالات من أنواع مختلفة من المطاريف يمكن أن تتغير خلال فترات زمنية قصيرة

جداً، أي خلال أجزاء من الثانية على سبيل المثال؛ علماً بأن مكوّن التداخل في الأجلين القصير والطويل يُستخدمان حصراً لأغراض التوضيح. ويجرى تحليل التداخل من أجل التداخل الكلي.

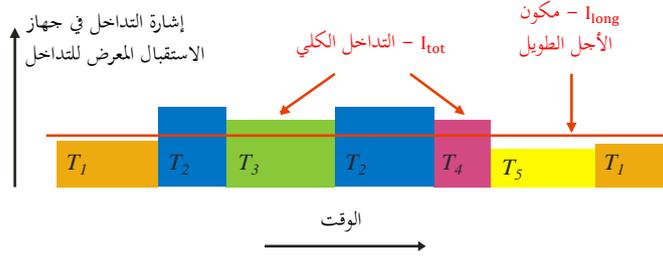
ويظهر الشكل 1 مستويات التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل بسبب إرسالات من المطاريّف  $T_1$  و  $T_2$  و  $T_3$  و  $T_4$  و  $T_5$ . وبشكل عام، وكما هو مبين في هذا الشكل، تعتمد مستويات التداخل وفترات الإرسال على خصوصية المطراف. ويمثل مكوّن الأجل الطويل الموضح هنا متوسط مستوى التداخل، ويعطى مكوّن التداخل في الأجل القصير بالفرق بين التداخل الكلي ومكوّن التداخل هذا في الأجل الطويل.

ولتحديد كمية التداخل والحد من آثاره، يعطى هذا الملحق أساليب لتقييم التداخل في الأجل الطويل والتداخل في الأجل القصير والتداخل الكلي وللحد من هذه التداخلات. وعلى وجه التحديد، يعطى التداخل في الأجل الطويل والمعايير لتلبية أهداف الأداء في الأجل القصير، للحد من آثار التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل.

### الشكل 1

التداخل المرصود في جهاز استقبال يتعرض للتداخل بسبب إرسالات نفاذ متعدد بتقسيم الزمن

من المطاريّف  $T_1$  و  $T_2$  و  $T_3$  و  $T_4$  و  $T_5$



S.2029-01

### 3 معيار التداخل في الأجل الطويل

ينفَّذ عادة تقييم التداخل غير المتغير بمرور الوقت باستخدام أسلوب  $\Delta T/T$ ، على النحو الموضح في التوصية ITU-R S.738 مثلاً. ومن أجل الاستفادة من نهج مماثل للنظر في حالة افتراضية عندما يكون مستوى التداخل في جهاز استقبال يتعرض للتداخل غير متغير بمرور الوقت أي تُضبط مستويات كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) في المطاريّف بحيث يعطى مستوى التداخل الملموس في جهاز استقبال يتعرض للتداخل بمستوى التداخل في الأجل الطويل،  $I_{long}$ . وفي هذه الحالة أيضاً لا ترتكب المطاريّف أخطاءً في توجيه الهوائي. ويعبّر عن معيار التداخل في الأجل الطويل في هذه الحالة بدلالة النسبة  $\Delta T/T$  على النحو التالي:

$$(1) \quad \left( \frac{\Delta T}{T} \right)_{long} = \frac{\tilde{I}_{long} / k}{\Theta_v + \gamma_v \Theta_v^s}$$

حيث تُعرّف  $\tilde{I}_{long}$  بأنها متوسط مجموعة الكثافة الطيفية لقدرة التداخل المحسوبة في عرض نطاق قدره  $W_{long}$  و  $k$  هو ثابت بولتزمان و  $\Theta_v$  هي حرارة ضوضاء جهاز الاستقبال المعرض للتداخل المحالة إلى خرج هوائيه و  $\Theta_v^s$  هي حرارة ضوضاء جهاز استقبال الساتل المعرض للتداخل المحالة إلى خرج هوائيه و  $\gamma_v$  هو كسب الإرسال من خرج هوائي دخل الساتل المعرض للتداخل إلى خرج هوائي جهاز الاستقبال المعرض للتداخل.

وعند ثبات متوسط مجموعة قدرة التداخل، يتضح أن نسبة قدرة التداخل إلى الضوضاء المعبرة في هذه الحالة الافتراضية لا تتغير بمرور الوقت.

ولكن في الممارسة العملية، تتوفر عموماً قيمة المتوسط الزمني لمكون التداخل في الأجل الطويل بدلاً من قيمة متوسط المجموعة. وقد تبدي قيمة المتوسط الزمني هذه تغيرات طفيفة عند حسابها على فترات زمنية مختلفة. وعندما تُحسب قيمة المتوسط الزمني،  $\bar{I}_{long}$ ، هذه على مدى فترة زمنية طويلة الأجل لمدة  $T_{long}$ ، يمكن أن تبدي تغيرات لأن التداخل الأساسي هو عملية إحصائية. بالإضافة إلى ذلك، قد تتغير الخصائص الإحصائية للمطاريف خلال هذه الفترة مما يؤدي إلى تغيرات طفيفة حول متوسط القيمة هذا. ويمكن الحد من هذه التغيرات بفرض قيود على دالة التوزيع التراكمي (CDF) للمتغير  $(\Delta T / T)_{long}$  كما يلي:

$$(2) \quad \Pr \left\{ \left( \frac{\Delta T}{T} \right)_{long} > X\% \right\} < p_{long} \%$$

حيث  $X$  و  $p_{long}$  و  $T_{long}$  هي معلمات النظام.

لأغراض التوضيح، تحدد التوصية ITU-R S.523-4 فاصلاً زمنياً يمتد لعشر دقائق يُحسب خلاله المتوسط من أجل حساب التداخل على أنظمة المهاتفة المشفرة بتشكيل الشفرة النبضية (PCM). وعلاوة على ذلك، يحدد الملحق 1 بالتوصية ITU-R S.1432-1 المستويات القصوى لنسبة التداخل إلى الضوضاء ( $I/N$ ) التي يمكن تجاوزها في أي شهر على النحو التالي:  $0 < (I/N) < 0,005$  dB من أجل 0,005% من أي شهر؛ و  $2,4 - < (I/N) < 12$  dB من أجل 0,03% من أي شهر؛ و  $10 - < (I/N) < 12$  dB من أجل 20% من أي شهر؛ و  $12 - < (I/N) < 100$  dB من أجل 100% من أي شهر.

#### 4 معايير لتلبية أهداف الأداء في الأجل القصير

في الفقرة السابقة، فُرضت حدود على التداخل في الأجل الطويل. وفي هذه الفقرة، يُعرض معيار للحد من التداخل الكلي بحيث يلبي أهداف الأداء في الأجل القصير لجهاز استقبال معرض للتداخل. وقد تظهر تغيرات في التداخل الكلي خلال أجزاء قليلة من الثانية. ووفقاً للتوصية ITU-R S.1323-2، ينبغي أن تحتوي الوصلات المعرضة للتداخل هوامش كافية في الوصلة لتخطي الترددات الناجمة عن الآثار المجتمعة للانتشار والتداخل المتغير بمرور الوقت. وينبغي ألا تشكل الترددات الناجمة عن آثار الانتشار أكثر من 90% من الوقت الموزع في أهداف الأداء في الأجل القصير. بالإضافة إلى ذلك، تفيد هذه التوصية بأن التداخل المتغير بمرور الوقت "ينبغي أن يكون مسؤولاً عن 10% على الأكثر من الوقت المخصص لنسبة الخطأ في البتات (BER) (أو قيمة نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$ ) الموصّف في أهداف الأداء في الأجل القصير للشبكة المطلوبة بما يقابل أقصر نسبة مئوية من الوقت (أقل قيمة لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$ ". وفي هذا الملحق، يُعرض معيار مماثل لما جاء أعلاه لاشتقاق حد مقبول للتداخل في الأجل القصير.

وعادةً ما تُذكر أهداف الأداء في الأجل القصير بدلالة مستويات نسبة الخطأ في البتات (BER) أو مستويات نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  التي لا يجوز أن تتردى لفترة زمنية محددة. فعلى سبيل المثال، بالنسبة لأزواج معينة من نسبة  $C/N$  والنسبة المثوية من الوقت،  $(C/N)_j, p_j\%$ ،  $j = 1, 2, \dots, J$ ، لا يجوز أن تقل النسبة  $C/N$  عن  $(C/N)_j$  إلا بنسبة  $p_j\%$  من الوقت في أي شهر. وعلى غرار فقرة إذ تضع في اعتبارها (س) من التوصية ITU-R S.1323-2، لننظر في آثار الانتشار المؤدية إلى تردي الوصلة خلال  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%$ ،  $j = 1, 2, \dots, J$  من الوقت على الأكثر في أي شهر حيث  $p_{short}$  تمثل جزءاً من بدل الوقت المحدد في هدف الأداء في الأجل القصير والموزع للتداخل في الأجل القصير (على سبيل المثال،  $p_{short} = 10$ )؛ علماً بأن التداخل في الأجل الطويل محدود على النحو المقترح في الفقرة السابقة. ويعبّر عن المعايير المقترحة للحد من التداخل في الأجل القصير والامتثال لأهداف الأداء في الأجل القصير على النحو التالي:

- (أ) بوجود آثار انتشار وتداخل في الأجل الطويل، ينبغي ألا تقل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  عن  $(C/N)_j$  لأكثر من  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%$ ،  $j = 1, 2, \dots, J$  (على سبيل المثال،  $p_{short} = 10$ ) من الوقت في أي شهر.
- (ب) بوجود تداخل في الأجل القصير، ينبغي ألا تقل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  عن  $(C/N)_j$  لأكثر من  $(p_{short}/100) \times p_j\%$  من الوقت في أي شهر، حيث  $p_j$  يقابل أصغر قيمة للنسبة  $(C/N)_j$ .

(ج) بوجود آثار انتشار وتداخل الكلبي، ينبغي ألا تقل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  عن  $(C/N)_j$  لأكثر من  $p_j\%$ ،  $j = 1, 2, \dots, J$ ، من الوقت في أي شهر.

ويلاحظ أنه من أجل الامتثال للشروط المذكورة أعلاه، يجب أن تحتوي الوصلة المعرضة للتداخل على هامشٍ كافٍ في الوصلة لتلبية الشرط أ)، وينبغي أن يكون مستوى كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) لمصدر التداخل محدوداً بما يلي الشرطين ب) و ج). ويلاحظ كذلك أنه وفقاً للشرط ج)، التأثير المشترك لتردي الانتشار والتداخل الكلبي هو بحيث تظل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  تلي هدف الأداء في الأجل القصير.

#### 1.4 التعبير عن نسب الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$

في ظروف صفاء السماء، يمكن التعبير عن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  مع الأخذ بعين الاعتبار مكون التداخل في الأجل الطويل على النحو التالي:

$$(C/N)_{CS} = \frac{C_{CS}}{N_{CS} + I_{long}}$$

حيث  $C_{CS}$  هي قدرة الموجة الحاملة في ظروف صفاء السماء و  $N_{CS}$  هي قدرة الضوضاء في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في ظروف صفاء السماء و  $I_{long}$  هو مكون قدرة التداخل في الأجل الطويل في ظروف صفاء السماء.

وتالياً، ننظر في نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في ظروف الخبو بفعل المطر. ويُرمز إلى عاملي توهين المطر في الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة لوصلة الإشارة المعرضة للتداخل بالرمزين  $A_{\uparrow}$  و  $A_{\downarrow}$  على التوالي. وستتوهن قدرة الموجة الحاملة في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في هذه الظروف بالعامل  $F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$  ويُرمز إليه بالرمز  $C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})$ . ويُرمز إلى قدرة الضوضاء في جهاز الاستقبال بالدالة  $N(N_{CS}, A_{\downarrow})$ . وتشمل هذه الدالة ضوضاء السماء بسبب المطر ومكونات الضوضاء من السواتل المطلوبة والمجاورة؛ علماً بأن عوامل التوهين بفعل المطر في الوصلة الهابطة من السواتل المجاورة قد لا تماثل  $A_{\downarrow}$ . وفي مثل هذه الحالات، ينبغي لدالة الضوضاء هذه أن تأخذ في الاعتبار هذه العوامل المختلفة لتوهين المطر. وفي ظروف توهين المطر، يُرمز إلى مكون التداخل في الأجل الطويل بالصيغة  $I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})$  حيث  $A_{\uparrow, i}$  هو عامل توهين المطر في الوصلة الصاعدة من المطراف المسبب للتداخل على الساتل المطلوب؛ علماً بأن عوامل توهين المطر في الوصلة الصاعدة لا تتماثل باختلاف المطارييف المسببة للتداخل، وينبغي أن تؤخذ مختلف عوامل توهين المطر هذه بعين الاعتبار في تلك الصيغة. وعلاوة على ذلك، عندما لا تتماثل مكونات توهين المطر في الوصلة الهابطة من السواتل المجاورة والمطلوبة، ينبغي أن تؤخذ بعين الاعتبار مختلف عوامل توهين المطر في الوصلة الهابطة من السواتل المجاورة. وبالجمع بينها، يعبر عن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في ظروف توهين المطر وعن مكون التداخل في الأجل الطويل على النحو التالي:

$$(3) \quad (C/N)_s = \frac{C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{long}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})}$$

وأخيراً، يُنظر في توهين المطر بوجود التداخل الكلبي،  $I_{tot}$ . فيمكن التعبير عن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  على النحو التالي:

$$(4) \quad (C/N)_t = \frac{C_{CS}F(A_{\uparrow}, A_{\downarrow})}{N(N_{CS}, A_{\downarrow}) + I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})}$$

حيث  $I(I_{tot}, A_{\downarrow}, A_{\uparrow, i})$  هو التداخل الكلبي بوجود المطر.

#### 2.4 التعبير عن معيار هدف الأداء في الأجل القصير

في هذه الفقرة الفرعية، يعبر عن معايير تلبية أهداف الأداء في الأجل القصير الواردة في الفقرة 4 بدلالة ترديات نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$ . ويمكن التعبير عن المعيار أ) أعلاه كما يلي:

$$\Pr\left\{(C/N)_s < (C/N)_j\right\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

ولأغراض التحليل، من المناسب النظر في ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  فيما يتعلق بقيم السماء الصافية. ويُرمز للتدريبات بوجود مكون التداخل في الأجل الطويل والتداخل الكلي بالصيغتين  $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$  و  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$  على التوالي. وإذ تعرّف كذلك المتغيرات  $Z_j = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_j}, j = 1, 2, \dots, J$ ، يمكن التعبير عما سبق في الشكل المكافئ التالي:

$$(5) \quad \Pr\{Z_s > Z_j\} \leq (1 - p_{short}/100) \times p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

وبالمثل، يمكن التعبير عن المعيار (ج) على النحو التالي:

$$(6) \quad \Pr\{Z_t > Z_j\} \leq p_j \%, \quad j = 1, 2, \dots, J$$

وأخيراً، يمكن تلبية المعيار (ب) عندما تكون الوصلة المعرضة للتداخل مصممة بحيث تستفيد آثار الانتشار من أقصى وقت موزّع لأصغر مستوى محدد لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  والذي يُرمز إليه بصيغة  $(C/N)_{jm}$ . وبالتالي، يمكن التعبير عن المعيار (ب) كما يلي:

$$(7) \quad \Pr\{Z_s > Z_{jm}\} = (1 - p_{short}/100) \times p_{jm} \%$$

## 5 قائمة المعلمات والرموز

تتضمن هذه الفقرة قائمة المعلمات والرموز المستخدمة في هذا الملحق.

|  |   |
|--|---|
| الطولان الموجيان في اتجاهي الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة على التوالي.   | $\lambda_u, \lambda_d (m)$                          |
| خطاً توجيه الهوائي عند المطراف $(T_r)$ : الزاوية بين الاتجاهين الفعلي والمغروب لخط تسديد الهوائي.                                  | $\Phi_r$ (بالدرجات):                                |
| خطاً توجيه الهوائي في الارتفاع والسمت عند المطراف $(T_r)$ : الفرق بين القيم الفعلية والمطلوبة لزاويتي الارتفاع والسمت.             | $\Phi_{r,\varepsilon}, \Phi_{r,\alpha}$ (بالدرجات): |
| زاوية الانحراف عن المحور عند المطراف المسبب للتداخل $(T_i)$ مقيسة من اتجاه خط تسديدها.   | $\psi$ (بالدرجات):                                  |
| الزاوية عند المطراف $(T_r)$ بين اتجاه خط تسديده والاتجاه نحو الساتل $S_x$ .  | $\psi_{r,x}, x = i, v$ (بالدرجات):                  |
| الزاوية عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بين اتجاه خط تسديده والاتجاه نحو الساتل المسبب للتداخل $S_i$ .                  | $\psi_{v,i}$ (بالدرجات):                            |
| الزاوية عند هوائي الاستقبال للساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ بين اتجاه خط تسديده والاتجاه نحو المطراف $T_x$ .                         | $\delta_{v,x}, x = i, v$ (بالدرجات):                |
| الزاوية عند هوائي الاستقبال للساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ بين اتجاه خط تسديده والاتجاه نحو المطراف $T_r$ .                         | $\delta_{i,r}$ (بالدرجات):                          |
| الزاوية عند هوائي الإرسال للساتل $(S_x)$ بين اتجاه خط تسديده والاتجاه نحو مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .                 | $\eta_x, x = i, v$ (بالدرجات):                      |
| كسب إرسال الوصلة الهابطة للساتل من خرج هوائي استقبال الساتل $(S_x)$ إلى خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ . | $\gamma_x, x = i, v$                                |
| الفصل المداري بين الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ والساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ .   | $\theta_{space}$ (بالدرجات):                        |
| حرارة ضوضاء السماء بفعل المطر في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $\Theta_r (K)$                                      |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| حرارة ضوضاء النظام في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $:\Theta_v$ (K)             |
| حرارة ضوضاء النظام في خرج هوائي استقبال الساتل $S_x$ .  | $:\Theta_x^s, x = i, v$ (K) |
| عامل التوهين بفعل المطر في الوصلة الهابطة من الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ إلى مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .                           | $:A_{\downarrow}$           |
| عامل التوهين بفعل المطر في الوصلة الصاعدة من المطراف المعرض للتداخل $(T_v)$ إلى الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ .                                   | $:A_{\uparrow}$             |
| عامل التوهين بفعل المطر في الوصلة الصاعدة من المطراف $T_r$ إلى الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ .  | $:A_{\uparrow, i}$          |
| كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) على خط التسديد عند المطراف $T_x$ .  | $:B_x, x = r, v$ (W/Hz)     |
| كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) على خط التسديد عند الساتل $S_x$ .   | $:B_x^s, x = r, v$ (W/Hz)   |
| الكثافة الطيفية لقدرة الموجة الحاملة في ظروف صفاء السماء عند خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .                           | $:C$ (W/Hz)                 |
| قدرة الموجة الحاملة في ظروف صفاء السماء عند خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $:C_{CS}$ (W)               |
| مركزاً حزمة الاستقبال للساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ والساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ على سطح الأرض.   | $:C_i, C_v$                 |
| نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ الموصَّفة في أهداف الأجل القصير. وينبغي ألا تقل النسبة $C/N$ عن $p\%$ من الوقت.                           | $:(C/N)_j$                  |
| نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في ظروف صفاء السماء بوجود التداخل في الأجل الطويل.                       | $:(C/N)_{CS}$               |
| نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في ظروف الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل في الأجل الطويل.                 | $:(C/N)_S$                  |
| نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في ظروف الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل الكلي.                           | $:(C/N)_t$                  |
| مخطط كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) المنحرفة عن المحور عند المطراف $T_r$ .   | $:E$ (W/Hz)                 |
| كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) في الاتجاه المنحرف عن المحور $\psi$ .   | $:EIRP(\psi)$ (W/Hz)        |
| الكسب المقيَّس لهوائي الإرسال عند المطراف $T_r$ $(G_{t,r}(0) = 1)$ .  | $:G_{t,r}$                  |
| كسب هوائي الاستقبال عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $:G_{r,v}$                  |
| مخططاً كسب هوائي الاستقبال عند الساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ والساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ على التوالي.  | $:G_{r,i}^s, G_{r,v}^s$     |
| الكسب المقيَّس لهوائي الإرسال عند الساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ والساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ على التوالي. $(G_{t,i}^s(0) = G_{t,v}^s(0) = 1)$ . | $:G_{t,i}^s, G_{t,v}^s$     |
| قيمة متوسط مجموعة الكثافة الطيفية لقدرة التداخل عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطارييف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .          | $:\bar{I}_{avg}$ (W/Hz)     |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| قدرة التداخل في الأجل الطويل عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطاريف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .   | $I_{long}$ (W)            |
| الكثافة الطيفية لقدرة التداخل في الأجل الطويل عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطاريف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .  | $\dot{I}_{long}$ (W/Hz)   |
| قدرة التداخل الكلي عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطاريف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .   | $I_{tot}$ (W)             |
| الكثافة الطيفية لقدرة التداخل الكلي عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطاريف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .  | $\dot{I}_{tot}$ (W/Hz)    |
| الكثافة الطيفية لقدرة التداخل الكلي بغياب أخطاء توجيه الهوائي عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل جميع المطاريف المعرضة للتداخل $(T_v)$ .  | $\dot{I}_{tot,0}$ (W/Hz)  |
| الكثافة الطيفية لقدرة التداخل عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ بفعل المطراف $T_r$ المستقبلة عبر الساتل $S_x$ .   | $I_x(r), x = i, v$ (W/Hz) |
| ثابت بولتزمان $k = 1,38065 \times 10^{-23}$ W/K/Hz.  | $k$                       |
| خسارة مسير الوصلة الهابطة من الساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ أو الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ إلى مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ . $(4\pi d_d/\lambda_d)^2 = L_d$ + الخسائر الأخرى، حيث $d_d$ هو مدى الوصلة الهابطة. | $L_d$                     |
| خسارة مسير الوصلة الصاعدة من المطراف $T_x$ إلى الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ . $(4\pi d_{u,x}/\lambda_u)^2 = L_{u,x}$ + الخسائر الأخرى، حيث $d_{u,x}$ هو مدى الوصلة الصاعدة.   | $L_{u,x}, x = r, v$       |
| الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء عند الساتل المعرض للتداخل $(S_v)$ في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $N_{\uparrow}$ (W/Hz)     |
| الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء عند مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ في خرج هوائيه المستقبل.   | $N_{\downarrow}$ (W/Hz)   |
| الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء عند الساتل المسبب للتداخل $(S_i)$ في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $N_{\uparrow,i}$ (W/Hz)   |
| قدرة الضوضاء في ظروف صفاء السماء في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .   | $N_{cs}$ (W)              |
| الكثافة الطيفية لقدرة الضوضاء السماوية بفعل المطر في خرج هوائي استقبال مطراف الاستقبال المعرض للتداخل $(R_v)$ .  | $N_r$ (W/Hz)              |
| دالة كثافة الاحتمال (PDF) للمتغير $X$ .  | $p_X$                     |
| دالة التوزيع التراكمي (CDF) للمتغير $X$ .  | $P_X$                     |
| نبضة مستطيلة بحيث $q_{\tau}(t) = 1$ من أجل $t$ في $(0, \tau)$ ، وصفر في أماكن أخرى.  | $q_{\tau}(t)$             |
| المنطقة التي تتوزع فيها المطاريف المسببة للتداخل.  | $R$                       |
| متجه الموقع عند المطراف $T_r$ مقيساً من المصدر $O$ .   | $r$ (m)                   |

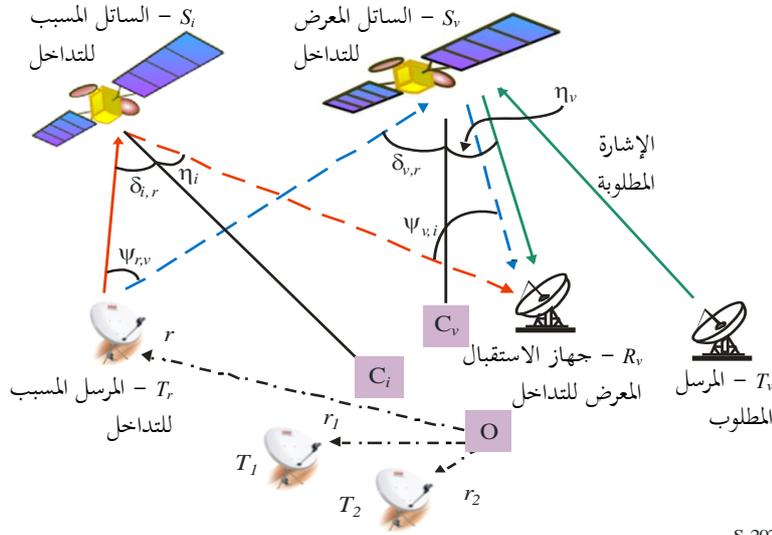
|  |                  |
|--|------------------|
| مطراف الاستقبال المعرض للتداخل.  | $R_v$ :          |
| سواتل الشبكة المسببة للتداخل والوصلة المعرضة للتداخل، على التوالي.   | $S_i, S_v$ :     |
| فترة حساب المتوسط للتداخل في الأجل الطويل.   | $T_{long}$ (s):  |
| المطراف المسبب للتداخل ذو متجه الموقع $r$ ومطراف الإرسال المطلوب.  | $T_r, T_v$ :     |
| عرض النطاق اللازم لتحديد الكثافة الطيفية لقدرة التداخل في الأجل الطويل.  | $W_{long}$ (Hz): |
| قيمة المعلمة $X$ بوحدة dB، $10 \log_{10}(X)$ .   | $\bar{X}$ (dB):  |
| $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ ، ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ بسبب الخبو بفعل المطر بوجود مكون التداخل في الأجل الطويل. | $Z_s$ :          |
| $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$ ، ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ بسبب الخبو بفعل المطر بوجود التداخل الكلي.                | $Z_t$ :          |

## 6 نموذج إحصائي لتحليل التداخل

تظهر في الشكل 2 الشبكتان الساتلتيان المسببة للتداخل والمعرضة للتداخل. ويُرمز لمطارييف الإرسال في الشبكة المسببة للتداخل بالرموز  $T_1, T_2, \dots, T_r$  على النحو الموضح هنا. ويُظهر هذا الشكل الشبكتين الساتلتيين، المعرضة للتداخل والمسببة للتداخل  $S_i$  و  $S_v$ ؛ والمطراف المطلوب  $T_v$  وجهاز الاستقبال المعرض للتداخل  $R_v$ . ويهدف التحليل إلى تحديد كمية التداخل الذي تُحدثه شبكة المطارييف  $T_1, T_2, \dots, T_r$  على الشبكة الساتلية المعرضة للتداخل. وتعمل المطارييف المسببة للتداخل بطريقة النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن حيث يقتصر الإرسال في لحظة زمنية معينة على مطراف واحد في نطاق ترددي ضيق يسترعي الاهتمام؛ علماً بأن هذه المطارييف يمكن أن تعمل في نطاق ترددي واسع بطريقة النفاذ المتعدد عبر الترددات. ويُحسب التداخل في هذا النطاق الترددي الواسع بجمع التداخل في كل نطاق ترددي ضيق. وفي الشكل 2، يُفترض أن الساتلين  $S_i$  و  $S_v$  يستخدمان التحويل الترددي نفسه من الوصلة الصاعدة إلى الوصلة الهابطة.

## الشكل 2

مسيرات التداخل من المطاريف  $T_1, T_2, \dots, T_r$ ، إلى جهاز الاستقبال المعرض للتداخل  $(R_i)$  عبر الساتلين  $S_i$  و  $S_v$ ؛  
 $S_i$  و  $S_v$  يرمزان إلى مركزي حزمة عبر الساتلين  $S_i$  و  $S_v$  على الأرض،  
 و  $O$  هو المصدر الذي تقاس منه المسافات إلى مواقع المطاريف



S.2029-02

وعلى افتراض أن المطاريف المسببة للتداخل ترسل بطريقة عشوائية، يمكن تمثيل اللحظة الزمنية التي يرسل فيها مطراف مسبب للتداخل بمتغير عشوائي يعتمد على الموقع. ويُرمز إلى دالة كثافة الاحتمال (PDF) لهذا المتغير العشوائي بالرمز  $p_r$ . وعندما تكون جميع المطاريف المسببة للتداخل في المنطقة  $R$ ، يترتب على ذلك أن  $\int_R p_r(r) dr = 1$ .

وقد تتألف المطاريف المسببة للتداخل من مطاريف ذات مقاسات مختلفة لفتحة الهوائي. ويُرمز بالرمز  $E$  إلى مخطط كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) المنحرفة عن المحور لمطراف عام موقعه  $r$ . ويُرمز بالرمز  $p_E$  إلى دالة كثافة الاحتمال (PDF) لمخططات كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية، عندما تُعتبر في كل المطاريف المسببة للتداخل. وبما أن تلك هي دالة كثافة الاحتمال، يترتب على ذلك أن  $\int_E p_E(E) dE = 1$ ، حيث يشمل التكامل كل قيم  $E$  الممكنة.

ويُرمز بالرمز  $\Phi_r$  إلى خطأ توجيه الهوائي في مطراف موقعه  $r$  وهو الزاوية بين الاتجاهين المطلوب والفعلي لخط تسديد الهوائي. وهذه الأخطاء في توجيه الهوائي يمكن أن تتغير ببطء، وهي مستقلة إحصائياً على اختلاف المطاريف. وفي هذا الملحق، يُفترض توفر مكوني الارتفاع والسمت لهذا الخطأ في توجيه الهوائي، اللذين يُرمز إليهما برمزي  $\Phi_{r,a}$  و  $\Phi_{r,e}$ . ويُفترض كذلك أن دالتي كثافة الاحتمال لمكوني هذا الخطأ في توجيه الهوائي معروفتان.

وفي معيار التداخل في الأجل الطويل، تقتضي الضرورة حساب متوسط قيمة التداخل على مر الوقت. ولتسهيل ذلك من المفيد أن يمثل مخطط الإرسال المعتمد على الوقت للمطاريف المسببة للتداخل على النحو المبين في الشكل 1. ويُفترض أن المطراف  $T_{r_n}$  الواقع في  $r_n$  يرسل خلال الفترة الزمنية  $(t_n, t_{n+1})$ . ويكون تتابع الإرسال لهذه المطاريف  $T_{r_0}, T_{r_1}, T_{r_2}, \dots$  وما يقابله من تتابع فترات الإرسال:  $((t_0, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3), \dots)$  ولتمثيل ذلك، يُرمز إلى وحدة عرض النبضة  $\tau$  بالصيغة  $q_\tau(t)$  بحيث أن  $q_\tau(t) = 1$  خلال الفاصل الزمني  $(0, \tau)$  وصفر خارج هذا الفاصل الزمني. ويمكن عندئذ التعبير عن مخطط الإرسال المعتمد على الوقت بالصيغة  $\sum_n T_{r_n} q_\tau(t - t_n)$  حيث  $\tau_n = (t_{n+1} - t_n)$ .

## 7 تحديد التداخل في الأجل الطويل

التداخل في الأجل الطويل هو متوسط قيمة التداخل على مر الوقت خلال الفاصل الزمني  $T_{long}$  في غياب أخطاء توجيه الهوائي. وتظهر في الشكل 2 مسيرات الإشارة من المطاريف المسببة للتداخل إلى جهاز الاستقبال المعرض للتداخل عبر الساتلين المسبب للتداخل والمعرض للتداخل. وكما سبق الذكر، يُفترض في هذا التحليل أن كلا الساتلين يستخدم تحويل الترددات نفسه بين الوصلة المساعدة والوصلة الهابطة. ويمكن التعبير عن الكثافتين الطيفيتين لقدرة التداخل في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل عبر الساتلين المعرض للتداخل والمسبب للتداخل بفعل المطراف  $T_r$  المسبب للتداخل بدلالة كسبي الإرسال من الساتلين إلى جهاز الاستقبال المعرض للتداخل،  $\gamma_v$  و  $\gamma_i$ ، ومعلمات الوصلة كما يلي:

$$(8) \quad I_v(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v$$

$$I_i(r) = \frac{B_r G_{t,r}(0) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i$$

حيث يعطى كسب الإرسال في الوصلة الساتلية،  $\gamma_v$  و  $\gamma_i$ ، على النحو التالي:

$$(9) \quad \gamma_v = \frac{B_v^s G_{t,v}^s(\eta_v) G_{r,v}(0) L_{u,v}}{B_v G_{r,v}^s(\delta_{v,v}) L_d}$$

$$\gamma_i = \frac{B_i^s G_{t,i}^s(\eta_i) G_{r,v}(\psi_{v,i}) L_{u,r}}{B_r G_{r,i}^s(\delta_{i,r}) L_d}$$

ويلاحظ أن كسب الإرسال  $\gamma_i$  لا يعتمد على موقع المطراف المسبب للتداخل لأنه كسب من خرج هوائي الاستقبال على الساتل المسبب للتداخل ( $S_i$ ) إلى خرج هوائي الاستقبال على المطراف المعرض للتداخل ( $R_v$ ).

ويعتمد حدا التداخل  $I_v(r)$  و  $I_i(r)$  على الموقع المحدد للمطراف المسبب للتداخل،  $T_r$ ، وهما يحددان باحتمال ضعيف  $p_r(r)dr$  وبما أن المطاريف المسببة للتداخل يمكن أن ترسل بمستويات مختلفة لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية المنحرفة عن المحور وتقع في مواقع مكانية مختلفة، فإن إشارة التداخل المركبة الناجمة عن جميع المطاريف تتغير بمرور الوقت. ويعبر عن قيمة متوسط مجموعة الكثافة الطيفية لقدرة التداخل عند النظر فيها مع احتساب جميع المطاريف المسببة للتداخل في الشبكة ضمن المنطقة  $R$  المرغوبة كما يلي:

$$(10) \quad \tilde{I}_{avg} = \iint_{R,E} (I_v(r) + I_i(r)) p_E(E) p_r(r) dE dr$$

ويلاحظ في هذه الفقرة وفي الفقرات اللاحقة أن الكثافة الطيفية لقدرة التداخل تُحسب، ويمكن الحصول على قدرة التداخل المقابلة بالضرب بعرض النطاق الذي يسترعي الاهتمام.

وفي هذه الفقرة، تقتضي الضرورة حساب متوسط قيمة التداخل على مر الوقت. ولذلك، فمن الضروري التعبير عن إشارة التداخل بوصفها دالة زمنية، في غياب أخطاء توجيه الهوائي. وباستخدام الدالة المستطيلة  $q_\tau(t)$ ، يمكن التعبير عن ذلك كما يلي:

$$\tilde{I}_{tot,0}(t) = \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n)$$

حيث  $r_n$  هو الموقع المكاني للمطراف المسبب للتداخل المرسل في الفاصل الزمني  $(t_n, t_{n+1})$  و  $\tau_n = (t_{n+1} - t_n)$ . ومكون التداخل في الأجل الطويل المطلوب هو متوسط القيمة على مر الوقت ويعبر عنه كما يلي:

$$(11) \quad \tilde{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_t^{t+T_{long}} \sum_n (I_v(r_n) + I_i(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n) dt$$

وكما ذُكر في الفقرة 3، بما أن  $\tilde{I}_{t0,0}$  هي عملية إحصائية فإن قيمة  $\tilde{I}_{long}$  أعلاه ستبدي تغيرات طفيفة عند حسابها على فترات زمنية مختلفة. وتفرض دالة التوزيع التراكمي (CDF) لنسبة التداخل في الأجل الطويل إلى الضوضاء، الواردة في الفقرة 3، حدوداً على هذه التغيرات.

## 8 التعبير عن معيار هدف الأداء في الأجل القصير

عُبر في الفقرة 2.4 عن معيار هدف الأداء في الأجل القصير بدلالة متغيرات ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$ . وفي هذه الفقرة، ستعطي صيغ لتحديد هذه الترديات في نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء بدلالة متغيرات وصلة الشبكة الساتلية المبينة في الشكل 2.

### 1.8 ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ بسبب الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل في الأجل الطويل

عُبر في الفقرة 1.4 عن ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  بسبب الخبو بفعل المطر بوجود مكون التداخل في الأجل الطويل  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ . وفي هذه الفقرة الفرعية، سيُحسب هذا الترددي بدلالة متغيرات وصلة معينة. يمكن التعبير عن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في ظروف صفاء السماء على النحو التالي:

$$(12) \quad (C/N)_{cs} = \frac{C}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}$$

حيث تعطى المتغيرات  $C$  و  $N_{\downarrow}$  و  $N_{\uparrow}$  و  $N_{\uparrow,i}$  بما يلي:

$$C = \frac{B_v G_{r,v}^s (\delta_{v,v})}{L_{u,v}} \gamma_v; N_{\downarrow} = k\Theta_v; N_{\uparrow} = k\gamma_v \Theta_v^s; N_{\uparrow,i} = k\gamma_i \Theta_i^s$$

ويلاحظ أن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  يعبر عنها في المعادلة (12)، وبعد ذلك في الفقرة 2.8، بدلالة كثافات قدرة الموجة الحاملة والضوضاء والتداخل. ويمكن الحصول على القدرة المقابلة لها من خلال ضربها بعرض النطاق الذي يسترعي الاهتمام.

ويُنظر تالياً في نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء بوجود الخبو بفعل المطر

$$(13) \quad (C/N)_s = \frac{C/A_{\uparrow}A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_{\uparrow,i}/A_{\downarrow} + N_r(1-1/A_{\downarrow}) + \tilde{I}_{long}/(A_{\uparrow}A_{\downarrow})}$$

وهنا يُفترض أن الفصل المداري بين الساتلين  $S_v$  و  $S_i$  صغير جداً بحيث يتماثل حدا الخبو في الوصلة الهابطة من هذين الساتلين. ويُفترض أيضاً التماثل التقريبي لحدود الخبو في الوصلة الصاعدة من المطاريف المسببة للتداخل، وهي تعطى بالصيغة  $A_{\uparrow,i}$ . وهذه منطقة تغطية معقولة لبضع مئات من الكيلومترات. وإذا لم تصح هذه الحالة، ينبغي تعديل آخر حد في مقام الكسر على النحو المناسب لاحتساب حد توهين المطر المعتمد على الموقع،  $A_{\uparrow,i}(r)$ .

ويعرّف ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في الحالة الساكنة بالصيغة  $Z_s = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_s}$ . وبتبديل قيمتي  $(C/N)_c$  و  $(C/N)_s$  من المعادلتين (12) و (13) يتضح أن:

$$(14) \quad Z_s = A_{\downarrow} \left( A d_1 + d_2 + d_3 / A_{\downarrow,i} \right)$$

حيث تعرّف المتغيرات  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  كما يلي:

$$d_1 = \frac{N_{\downarrow} + N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_2 = \frac{N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} - N_r}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}; d_3 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow} + N_{\uparrow,i} + \tilde{I}_{long}}$$

وبلاحظ أن  $(d_1 + d_2 + d_3) = 1$ . وللتعبير عن المتغيرات  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  بدلالة متغيرات الوصلة الساتلية، تُستحدث المتغيرات التالية:

$$c_1 = \frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}}; c_2 = \frac{N_{\uparrow,i}}{N_{\downarrow}}; c_3 = \frac{N_r}{N_{\downarrow}}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{N_{\downarrow}}$$

وبالاستعاضة عن هذه المتغيرات في  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  أعلاه:

$$d_1 = \frac{1+c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_2 = \frac{c_1+c_2-c_3}{1+c_1+c_2+c_4}; d_3 = \frac{c_4}{1+c_1+c_2+c_4}$$

ويمكن التعبير عن المتغيرات  $c_1$  و  $c_2$  و  $c_3$  بدلالة معلمات الوصلة الساتلية كما يلي:

$$c_1 = \frac{\Theta_v^s}{\Theta_v} \gamma_v; c_2 = \frac{\Theta_i^s}{\Theta_v} \gamma_i; c_3 = \frac{\Theta_r}{\Theta_v}; c_4 = \frac{\tilde{I}_{long}}{k\Theta_v}$$

وبما أن الخبو بفعل المطر يتوفر عادةً بوحدات dB، يمكن تحليل المتغير  $Z_s$  لتردي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في المعادلة (14) بشكل ملائم عندما يعبر عنه بوحدات لوغاريتمية. وبالتعبير عن  $Z_s$  وعن الخبو بفعل المطر بوحدات dB:

$$\bar{Z}_s = \bar{A}_s + 10 \log \left( 10^{\bar{A}_s/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_s/10} d_3 \right) \quad (15)$$

ويمكن تحديد دالة التوزيع التراكمي (CDF) للصيغة  $\bar{Z}_s$  تحليلياً عند معرفة دوال كثافة الاحتمال (PDF) لعوامل التوهين بفعل المطر  $\bar{A}_s$  و  $\bar{A}_i$  و  $\bar{A}_r$ . وبدلاً من ذلك، يمكن أن يُستخدم أسلوب محاكاة مونت كارلو لتقدير دالة التوزيع التراكمي للمتغير  $\bar{Z}_s$ .

## 2.8 ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء $(C/N)$ بسبب الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل الكلي

في هذه الفقرة، يحدد ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  بسبب الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل الكلي،  $Z_t = \frac{(C/N)_{cs}}{(C/N)_t}$  بدلالة معلمات الوصلة الساتلية.

وكان مكون التداخل في الأجل الطويل في الفقرة 7 قد حُدد عند إرسال المطاريف المسببة للتداخل دون أخطاء في توجيه الهوائي. وتتخذ في هذه الفقرة بعين الاعتبار أخطاء المطاريف في توجيه الهوائي. ويُرمز إلى الخطأ في توجيه الهوائي في المطاريف  $T_r$  بالرمز  $\Phi_r$ . وبوجود أخطاء في توجيه الهوائي، يعبر عن حدود التداخل في المعادلة (8) كما يلي:

$$I_v(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,v}(\Phi_r)) G_{r,v}^s(\delta_{v,r})}{L_{u,r}} \gamma_v \quad (16)$$

$$I_i(r) = \frac{B_r G_{t,r}(\psi_{r,i}(\Phi_r)) G_{r,i}^s(\delta_{i,r})}{L_{u,r}} \gamma_i$$

حيث يظهر بوضوح اعتماد زاويتي الانحراف عن المحور  $\psi_{r,i}$  و  $\psi_{r,v}$  على  $\Phi_r$ . فيصبح التداخل الكلي الآن بوجود أخطاء في توجيه الهوائي،  $\tilde{I}_{tot} = (I_v(r) + I_r(r))$ . وعادة ما تتاح الأخطاء في توجيه الهوائي بدلالة الأخطاء في اتجاهي السمات والارتفاع  $\Phi_{r,\varepsilon}$  و  $\Phi_{r,a}$ . ويورد الملحق 1 بالتوصية ITU-R S.1857 أسلوباً لتحديد الزاويتين  $\psi_{r,i}(\Phi_r)$  و  $\psi_{r,v}(\Phi_r)$  باستخدام زاويتي الخطأ المتاحتين في السمات والارتفاع.

ويعبر عن نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء  $(C/N)$  في جهاز الاستقبال المعرض للتداخل بسبب الخبو بفعل المطر وبوجود التداخل الكلي، كما يلي:

$$(C/N)_t = \frac{C/A_{\uparrow}A_{\downarrow}}{N_{\downarrow} + N_{\uparrow}/A_{\downarrow} + N_{\uparrow,i}/A_{\downarrow} + N_r(1-1/A_{\downarrow}) + \tilde{I}_{tot}/(A_{\uparrow,i}A_{\downarrow})} \quad (17)$$

وعلى غرار الاشتقاق في الفقرة السابقة، يعبر عن الترددي في نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/N$ ) في هذه الحالة، كما يلي:

$$(18) \quad \bar{Z}_t = \bar{A}_t + 10 \log \left( 10^{\bar{A}_t/10} d_1 + d_2 + 10^{-\bar{A}_t/10} \tilde{I}_{tot} d_3 \right)$$

حيث  $\tilde{I}_{tot} = \tilde{I}_{tot} / \tilde{I}_{long}$  والمتغيرات  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  هي على النحو الوارد في الفقرة السابقة. ويمكن تحديد دالة التوزيع التراكمي (CDF) للصيغة  $\{ \bar{Z}_t \}$  عند توفر دوال كثافة الاحتمال (PDF) لعوامل التوهين بفعل المطر ودوال كثافة الاحتمال المذكورة في الفقرة 6. وبدلاً من ذلك، يمكن أن يُستخدم أسلوب محاكاة مونت كارلو لتقدير دالة التوزيع التراكمي للمتغير  $\bar{Z}_t$ .

## 9 الزيادة في ترددي الوصلة بسبب التداخل في الأجل القصير

يرد في الفقرة 2.4 معيار أهداف الأداء في الأجل القصير بدلالة الدالتين المتكاملتين للتوزيع التراكمي لمتغيرات ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/N$ )،  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}))$  و  $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}))$ . ويُنظر في مستوى ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء،  $\bar{z}_j$ ، في الخبو بفعل المطر وبوجود تداخل في الأجل الطويل. ويكون ترددي الوصلة، أي عندما يزيد  $\bar{Z}_s$  عن  $\bar{z}_j$ ، بدلالة النسبة المئوية من الوقت في هذه الحالة هو  $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ . ويُنظر تالياً في التداخل الكلي على هذه الوصلة.

ويكون ترددي الوصلة لنفس مستوى ترددي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء،  $\bar{z}_j$ ، هو  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) \times 100\%$ . ولذلك، فإن الزيادة النسبية في ترددي الوصلة بسبب وجود تداخل في الأجل القصير هي:

$$(19) \quad R_S \% = \frac{(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) - (1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j))}{(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j))} \times 100\%$$

ولنفترض، على سبيل المثال، وصلة ساتلية مصممة للعمل بحيث تقل نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/N$ ) عن  $(C/N)_j$  خلال  $p_j\%$  من الوقت فقط. ووفق الفقرة 2.4، ينبغي إدراج هامش الوصلة بحيث يُحد من التردديات في ظروف الخبو بفعل المطر والتداخل في الأجل الطويل بمقدار  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%$  من الوقت على الأكثر. ويمكن حساب هامش الوصلة،  $\bar{z}_j$ ، اللازم للوفاء بهذا الشرط باستخدام دالة التوزيع التراكمي (CDF) لمتغير الترددي كما يلي:  $(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100)$ . ثم ينبغي الحد من التداخل في الأجل القصير بحيث  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j)) \leq p_j$ . وتتضح من المعادلة (19) صحة المتراجحة  $R_S \% \leq p_{short} \%$  لهذه القيم.

## 10 الزيادة في متوسط التداخل بسبب أخطاء توجيه الهوائي

يلاحظ أن عنصر التداخل في الأجل الطويل،  $\tilde{I}_{long}$ ، الذي يُحسب في غياب أخطاء توجيه الهوائي وحد التداخل الكلي، على النحو المحسوب في الفقرة 2.8، يأخذ أخطاء توجيه الهوائي في الحسبان. وتعود تغيرات التداخل في الأجل القصير إلى أخطاء توجيه الهوائي وتشغيل المطارييف بواسطة النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن. ويمكن إهمال التغيرات الناجمة عن هذا التشغيل إذا اعتُبر متوسط قيمة التداخل  $\tilde{I}_{long}$  الذي يُرمز إليه بالرمز  $\langle \tilde{I}_{long} \rangle$  والمعطى في المعادلة (10) بصيغة  $\tilde{I}_{avg}$ . ويمكن أن تتحقق هذه القيمة عندما تطول فترة  $T_{long}$  كثيراً بالنسبة إلى متوسط مدة الإرسال لكل مطراف. ويمكن استخدام المقياس التالي لتحديد تأثير أخطاء توجيه الهوائي على متوسط التداخل:

$$(20) \quad R_L \% = \frac{\langle \tilde{I}_{tot} \rangle - \langle \tilde{I}_{long} \rangle}{\langle \tilde{I}_{long} \rangle} \cdot 100\%$$

حيث  $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle$  هو متوسط قيمة التداخل الكلي. ويلاحظ في غياب أخطاء توجيه الهوائي أن  $\langle \tilde{I}_{tot} \rangle \approx \langle \tilde{I}_{long} \rangle$ ، ويُهمل بالتالي  $R_L$ .

## 11 نماذج المحاكاة

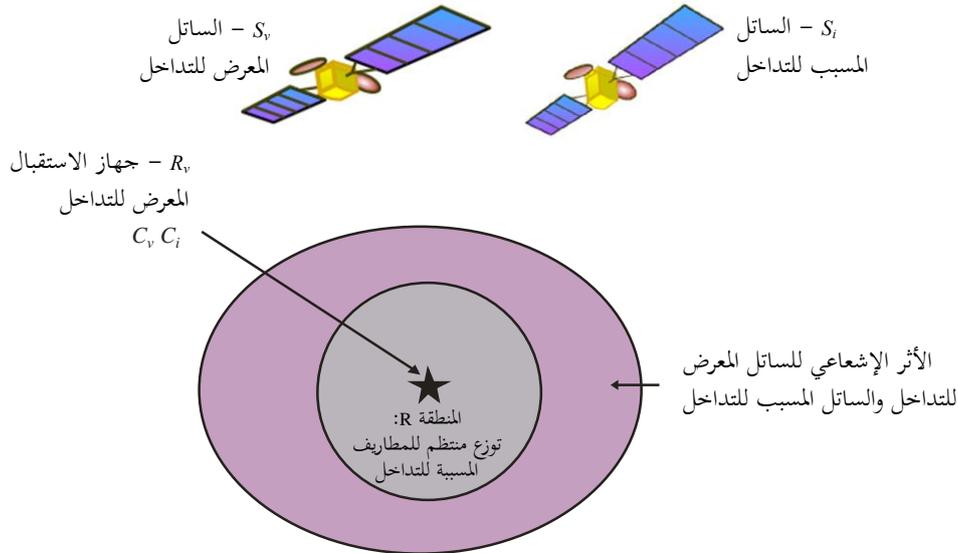
تورد هذه الفقرة نتائج المحاكاة الحاسوبية التوضيحية التي لحصل عليها من المنهجية المعروضة في هذا الملحق. ويبين الشكل 3 مواقع جهاز الاستقبال المعرض للتداخل والمطاريب المسببة للتداخل بالنسبة إلى مراكز حزمة هوائي استقبال الساتلين  $S_i$  و  $S_v$ . وعلى النحو الموضح هنا، يتطابق مركزا الخزميتين الساتليتين في هذه المحاكاة الحاسوبية، ويتموضع جهاز الاستقبال المعرض للتداخل في هذه النقطة. ويُحصل على المنطقة  $R$ ، حيث تتوزع المطاريب المسببة للتداخل، من خلال توزيع مطاريب الإرسال بشكل منتظم في منطقة دائرية مركزها  $C_v$  (أو  $C_i$ ) ونصف قطرها 100 km. وتُختار أقطار فتحة المطاريب المسببة للتداخل عشوائياً من المجموعة  $\{0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4\}$  m ويُحد مخططها لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) بما يلي:

$$(21) \quad \text{EIRP}(\psi) \text{ dB(W/40kHz)} = \begin{cases} 19 - 25 \log \psi + \tilde{E} \text{ dB} & 2^\circ \leq \psi \leq 7^\circ \\ -2 + \tilde{E} \text{ dB} & 7^\circ < \psi \leq 9,2^\circ \\ 22 - 25 \log \psi + \tilde{E} \text{ dB} & 9,2^\circ < \psi \leq 48^\circ \\ -10 + \tilde{E} \text{ dB} & 48^\circ < \psi \leq 180^\circ \end{cases}$$

حيث  $\psi$  هي زاوية الانحراف عن المحور و  $\tilde{E}$  هي المعلمة التي يمكن استخدامها لرفع أو خفض مستويات البث المنحرف عن المحور من المطاريب. ويلاحظ عندما  $0 = \tilde{E}$  أن مستوى البث المنحرف عن المحور يقابل ذلك الموصّف في الفقرة 4 من توصي من التوصية ITU-R S.524-9 للمحطات الأرضية العاملة في الشبكات القائمة في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض في الخدمة الثابتة الساتلية المرسله في النطاق الترددي 27,5 - 30 GHz. وتعطى النتائج التالية للمحاكاة من أجل  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_S$  و  $R_L$  كدالة للمعلمة  $\tilde{E}$ . وترد معلمات الوصلة الساتلية والمعلومات الإحصائية المستخدمة في المحاكاة الحاسوبية، في الجدولين 1 و 2 على التوالي.

### الشكل 3

الأثران الإشعاعيان للساتلين المعرض للتداخل والمسبب للتداخل وتوزع المطاريب المسببة للتداخل في هذه المحاكاة. وهنا يتطابق  $C_i$  و  $C_v$ ، ويُفترض أيضاً أن  $R_v$  يتطابق مع هذه النقطة



## الجدول 1

## معلومات الوصلة الساتلية المستخدمة في المحاكاة الحاسوبية

|  |  |
|--|--|
| <p>تردد الوصلة الصاعدة<br/>خسارة الوصلة الصاعدة<br/>مطراف الإرسال المعرض للتداخل، <math>T_v</math> (خط العرض، خط الطول)<br/>ارتفاع الموقع عند <math>T_r</math> و <math>T_v</math><br/>معدل المطر وارتفاع المطر عند <math>T_r</math> و <math>T_v</math></p>   | <p>GHz 28,75<br/>dB 213,09<br/>(40° شمالاً - 102,8° شرقاً)<br/>200 m فوق متوسط مستويات سطح البحر<br/>حُصل عليهما باستخدام التوصيتين ITU-R P.837 و ITU-R P.839</p>  |
| <p>خطا الطول عند الساتلين <math>S_i</math> و <math>S_v</math><br/>مركزا الحزمة الساتلية <math>C_i</math> و <math>C_v</math> (خط العرض، خط الطول)<br/>كسبا هوائي الاستقبال في الساتلين، <math>G_{r,v}^s</math> و <math>G_{r,i}^s</math><br/>حرارتا الضوضاء في الساتلين، <math>T_v^s</math> و <math>T_i^s</math><br/>هوائيا الاستقبال في الساتلين<br/>كثافة e.i.r.p. للساتل <math>S_v</math></p> | <p>102,8° شرقاً و (102,8° + <math>\theta_{space}</math>) شرقاً<br/>(40° شمالاً - 102,8° شرقاً)، (40° شمالاً - 102,8° شرقاً)<br/>dB 51,83<br/>K 1 000<br/>فتحة دائرية قطرها 1,75 m بإنارة مكافئية<br/>30 dBW/40 kHz</p> |
| <p>تردد الوصلة الهابطة<br/>خسارة الوصلة الهابطة<br/>كسب هوائي الاستقبال المعرض للتداخل، <math>G_{r,v}</math><br/>ارتفاع الموقع عند <math>R_v</math><br/>معدل المطر وارتفاع المطر عند <math>R_v</math></p>  | <p>GHz 18,95<br/>dB 209,47<br/>(2,4 m) dBi 50,96، (1,2 m) dBi 44,96<br/>200 m فوق متوسط مستويات سطح البحر<br/>حُصل عليهما باستخدام التوصيتين ITU-R P.837 و ITU-R P.839</p>   |
| <p>كسبا إرسال الوصلة الساتلية، <math>(\gamma_i, \gamma_v)</math></p>   | <p><math>R_v</math> ل m 2,4 من أجل فتحة قطرها 2,4 m (dB 76,62-، dB 7,25-)<br/><math>R_v</math> ل m 1,2 من أجل فتحة قطرها 1,2 m (dB 64,49-، dB 13,27-)</p>  |

## الجدول 2

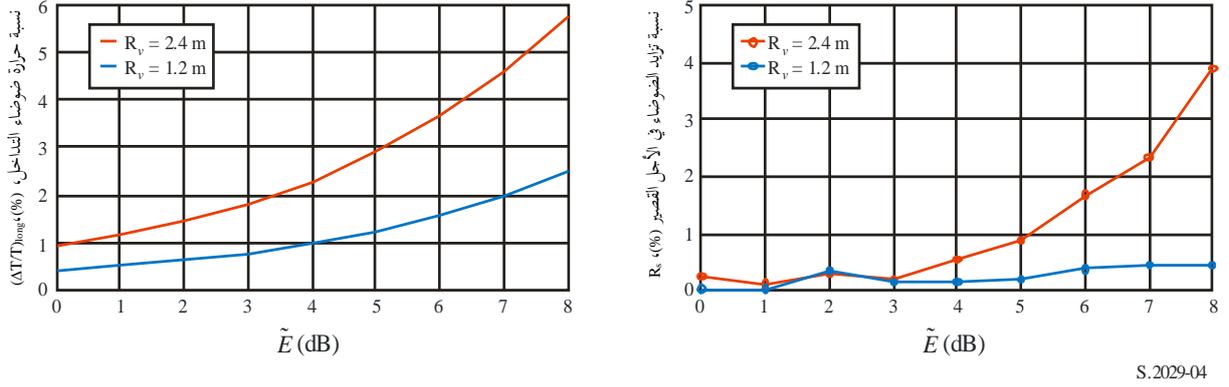
## المعايير الإحصائية المستخدمة في المحاكاة

|   |  |
|---|--|
| <p>مساحة دائرية مركزها في <math>C_i</math> و <math>C_v</math> ونصف قطرها 100 km<br/>موزعة بانتظام في المنطقة <math>R</math><br/>مطاريات أقطار فتحاتها {0,2، 0,25، 0,3، 0,35، 0,4} m موزعة بالتساوي وكثافة e.i.r.p. محدودة<br/>بالمعادلة (21)<br/>متغيرات غوسية عشوائية متوسطها صفر وانحرافها المعياري <math>\sigma</math></p> | <p>المنطقة <math>R</math><br/><math>p_r</math><br/><math>p_E</math><br/><math>\phi_{r,a}</math> و <math>\phi_{r,\epsilon}</math></p> |
|---|--|

يظهر الشكلان 4 و 5 قيم  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_s$  الواردة في المعادلتين (1) و (19) على التوالي. وتحدد قيم  $\tilde{I}_{long}$  في بسط كسر  $(\Delta T/T)_{long}$  بافتراض قيمة كبيرة جداً للفترة  $T_{long}$ . ولذلك، يمكن إهمال الاختلافات الإحصائية في  $\tilde{I}_{long}$ . ويمكن أن يرى من المعلومات التوضيحية الواردة في الجدولين 1 و 2، وعندما يبلغ الفصل المداري  $4^\circ$ ، أن مستوى كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) الذي يقابل  $\tilde{E} = 7.3 \text{ dB}$  يؤدي إلى  $(\Delta T/T)_{long} = 5\%$  في جهاز استقبال معرض للتداخل قطر فتحته 2,4 m. وإذا بلغ الفصل المداري  $3^\circ$ ، يتعين خفض  $\tilde{E}$  إلى -1,3 dB للحفاظ على نفس مستوى  $(\Delta T/T)_{long}$ . وتبين هذه الأرقام أن  $(\Delta T/T)_{long}$  أقل في جهاز استقبال معرض للتداخل قطر فتحته 1,2 m. ويبين الشكلان 4 و 5 أيضاً قيمة  $R_s$  المستخدمة في معيار الأجل القصير. وفي هذه الحالة، ضُبطت نسبتا  $p_j$  و  $p_{short}$  بقيمتي 2% و 10% على التوالي. وبالنسبة للمعلومات المعتبرة في هذا المثال التوضيحي تقل قيمة  $R_s$  عن 4%. ومن المعادلة (19)، يتوافق ذلك مع مستوى لتردي الوصلة يقل عن 1,88%.

الشكل 4

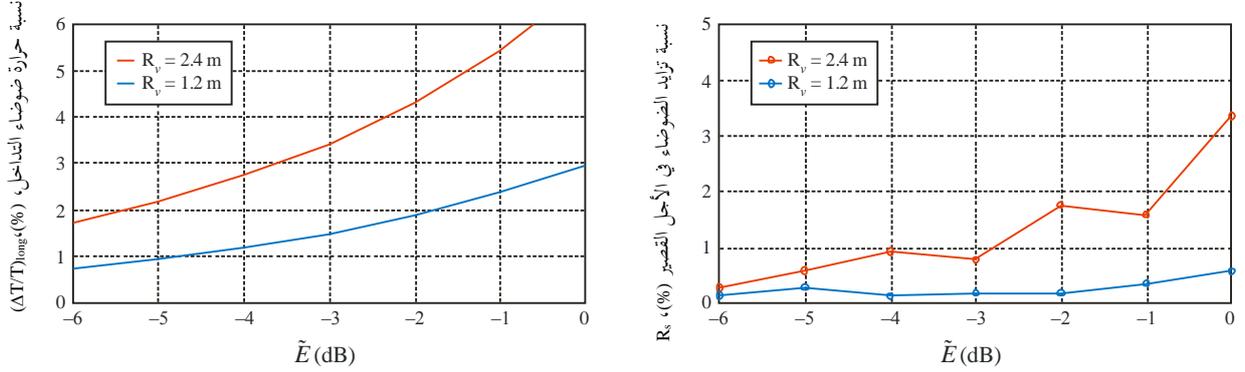
تغيرات  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_s$  مع  $\tilde{E}$  في المعادلة (21) من أجل  $\theta_{space} = 4^\circ$  و  $\sigma = 0,5$



S.2029-04

الشكل 5

تغيرات  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_s$  مع  $\tilde{E}$  في المعادلة (21) من أجل  $\theta_{space} = 3^\circ$  و  $\sigma = 0,5$

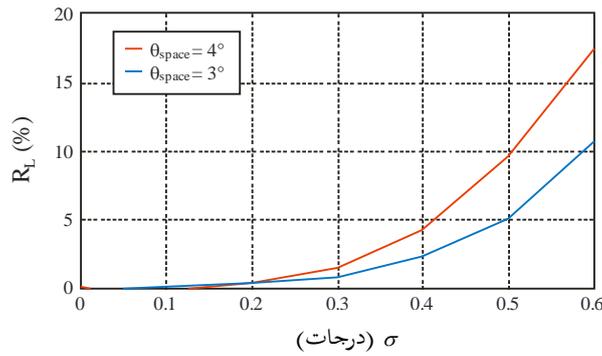


S.2029-05

وتظهر في الشكل 6 قيمة  $R_L$  المستخدمة في المعادلة (20) لقيم مختلفة من  $\sigma$ . وكما سلف الذكر، إذ تكبر قيم  $T_{long}$  بما فيه الكفاية، تُهمل تغيرات  $R_L$  في غياب أخطاء توجيه الهوائي. ويظهر هذا الشكل الزيادة التدريجية لقيمة  $R_L$  بازدياد قيم  $\sigma$ .

الشكل 6

تغير  $R_L$  مع الانحراف المعياري لأخطاء توجيه الهوائي لفاصلين مداريين بمقدار  $3^\circ$  و  $4^\circ$



S.2029-06

## 12 الاستنتاجات

عُرض في هذا الملحق نهج إحصائي جديد لتقييم تداخل نظام يتغير بمرور الوقت ويتكون من شبكة من المحطات الأرضية تعمل بخطة النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن. واستعين بالنتائج لإيضاح الترددي المحتمل على شبكة ساتلية معرضة للتداخل، وأظهرت أن مستويات الإرسال من مطاريف الشبكة المسببة للتداخل يمكن تعديلها للوفاء بالتداخل المسموح به وبأهداف الأداء للنظام الساتلي المعرض للتداخل. ويقدم تذييل هذا الملحق عملية تدرجية توضيحية لتقدير دالة التوزيع التراكمي (CDF) للنسبة  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_S$ .

## التذييل

## عملية تدرجية توضيحية لتقدير دالة التوزيع التراكمي (CDF)

للسببة  $(\Delta T/T)_{long}$  و  $R_S$ 

يوفر هذا التذييل عملية تدرجية توضيحية لتقدير دالة التوزيع التراكمي (CDF) للنسبة  $(\Delta T/T)_{long}$  الواردة في الفقرة 3 والزيادة النسبية في الترددي بسبب التداخل في الأجل القصير،  $R_S$ ، على النحو المعبر عنه في المعادلة (19) من الملحق. وتقدر هذه القيم مستوى معين لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) المنحرفة عن المحور. ويستند النهج المقدم هنا إلى محاكاة مونت كارلو.

## 1 مدخلات عملية التقدير

## المدخل 1 معلمات الوصلة الساتلية

طولاً الموجة للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة  $\lambda_d$ ،  $\lambda_u$ ؛ خطاً طول الساتلين  $S_v$ ،  $S_i$ ؛ زوج خط العرض وخط الطول في  $C_v$ ،  $C_i$ ؛ مخططاً كسب هوائي الاستقبال  $G_{r,i}^S$ ،  $G_{r,v}^S$ ؛ حرارتا الضوضاء  $\Theta_i^S$ ،  $\Theta_v^S$ ؛ كسب الإرسال  $\gamma_i$ ،  $\gamma_v$ .  
حرارة الضوضاء  $\Theta_v$ .

## المدخل 2 المطاريف المسببة للتداخل

دالة كثافة الاحتمال (PDF) للتوزع المكاني للمطاريف  $p_r$ ؛ دالة كثافة الاحتمال لتوزع كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية  $p_E$ . ويلاحظ أن كثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية تعتمد على مقياس فتحة المطراف والحد المنظور فيه لكثافة القدرة المشعة المكافئة المتناحية المنحرفة عن المحور.

أخطاء توجيه الهوائي: دالتا كثافة الاحتمال لمكوني السميت والارتفاع في خطأ توجيه الهوائي،  $p_{\phi_a}$ ،  $p_{\phi_e}$ . وبدلاً من ذلك، يمكن أن يتوفر هذان المكونان كمتجهين بطول  $N_{mc}$  (يرد تعريفهما في المدخل 5)،  $\{\phi_{r,a}\}$ ،  $\{\phi_{r,e}\}$ .  
مخطط الإرسال للمطاريف: دالة كثافة الاحتمال لمدة إرسال المطاريف،  $p_\tau$ ، حيث  $\tau$  هي مدة إرسال مطراف كما ورد بحثها في الفقرة 6.

## المدخل 3 معلمات المطر

معدل الأمطار والارتفاع فوق متوسط مستويات سطح البحر وارتفاع المطر لموقعي  $T_v$  و  $R_v$ ، والمركز التمثيلي للمنطقة  $R$  المحددة بواسطة  $p_r$ . ويمكن حساب هذه المعلمات باستخدام التوصيتين ITU-R P.837 و ITU-R P.839.  
حرارة ضوضاء السماء بسبب المطر  $\Theta_r$ .

## المدخل 4 معلمات لحساب مستويي التداخل في الأجل الطويل والقصير

فترة الرصد للتداخل في الأجل الطويل،  $T_{long}$ ؛ والنسبة المئوية الزمنية لتريديات الوصلة في أهداف الأداء في الأجل القصير،  $p_i\%$ ، والنسبة المئوية الزمنية القصوى للتداخل في الأجل القصير،  $p_{short}\%$ .

المدخل 5 معلمة محاكاة مونت كارلو: مقياس عينة المتجه العشوائي  $N_{mc}$ .

## 2 تقدير دالة التوزيع التراكمي (CDF) للنسبة $(\Delta T/T)_{long}$

**الخطوة 1** إنشاء أوقات الإرسال للمطاريق المسببة للتداخل

تولّد أوقات إرسال  $N_{long}$ ،  $\{\tau_n\}$ ، وفق دالة كثافة الاحتمال (PDF)،  $p_\tau$ ، بحيث يفي مجموع جميع أوقات الإرسال بالمتراجحة التالية:  $\sum_{n=1}^{N_{long}-1} \tau_n < T_{long} \leq \sum_{n=1}^{N_{long}} \tau_n$ .

**الخطوة 2** إنشاء مطاريق الإرسال المسبب للتداخل

أ) يُنشأ متجه الموقع،  $\{r\}$ ، الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{long}$  وفق دالة كثافة الاحتمال (PDF)،  $p_r$ .

ب) تُختار كثافة القدرة المشعة المكافئة المتاحة (e.i.r.p.) للمطاريق في كل نقطة موقع،  $r$ ، وفق دالة كثافة الاحتمال PDF  $p_E$ .

**الخطوة 3** حساب حدي التداخل  $I_i(r)$  و  $I_v(r)$

أ) الزاوية  $\psi_{r,v}$ . وهي تُحسب باستخدام خطوط العرض والطول في  $r$  و  $S_i$  و  $S_v$ .

ب) الزاويتان  $\delta_{i,r}$  و  $\delta_{v,r}$ . وهما تُحسبان باستخدام خطوط العرض والطول في  $r$  و  $S_i$  و  $S_v$  و  $C_i$  و  $C_v$ .

ج) تُحسب خسارة مسير الوصلة الصاعدة  $L_{u,r}$ .

د) إشارة التداخل  $(I_i(r) + I_v(r))$  باستخدام المعادلة (8)؛ علماً بأن  $B_r G_{t,r}(\psi_{r,v})$  هي كثافة القدرة المشعة المكافئة المتاحة (e.i.r.p.) في اتجاه الساتل  $S_v$  و  $B_r G_{t,r}(0)$  هي كثافة القدرة المشعة المكافئة المتاحة (e.i.r.p.) في اتجاه الساتل  $S_i$ .

والمتجه الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{long}$  ويُحصّل عليه بحساب  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$  في جميع نقاط الموقع  $\{r\}$  يعطي القيم اللحظية للتداخل في غياب أخطاء توجيه الهوائي.

**الخطوة 4** حساب التداخل في الأجل الطويل  $\bar{I}_{long}$

أ) تُنشأ إشارة التداخل،  $\bar{I}_{tot,0}(t)$ ، كدالة للوقت على النحو الموضح في الفقرة 7.

$$\bar{I}_{tot,0}(t) = \sum_{n=1}^{N_{long}} (I_i(r_n) + I_v(r_n)) q_{\tau_n}(t - t_n) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i$$

حيث  $r_n$  هو المكون ذو الترتيب  $n$  في  $\{r\}$ ، و  $t_1 = 0$  و  $t_n = 0$

ب) يُحسب  $\bar{I}_{long} = \frac{1}{T_{long}} \int_{t=0}^{T_{long}} \bar{I}_{tot,0}(t) dt$

## 5 تقدير دالة التوزيع التراكمي (CDF) للنسبة $(\Delta T/T)_{long}$

أ) يُنشأ المتجه  $\{\bar{I}_{long}\}$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  بتكرار خطوات 1-4 أعلاه  $N_{mc}$  مرة.

ب) يُنشأ المتجه  $\{(\Delta T/T)_{long}\}$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  باستخدام (1) والمتجه  $\{\bar{I}_{long}\}$ .

ج) تقدّر دالة التوزيع التراكمي (CDF) للمتجه  $\{(\Delta T/T)_{long}\}$ .

## 3 تقدير $R_s$

**الخطوة 1** إنشاء مطاريق الإرسال المسببة للتداخل

أ) يُنشأ متجه الموقع،  $\{r\}$ ، الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  وفق دالة كثافة الاحتمال PDF  $p_r$ .

ب) تُختار كثافة القدرة المشعة المكافئة المتاحة (e.i.r.p.) للمطاريق في كل نقطة موقع،  $r$ ، وفق دالة كثافة الاحتمال PDF  $p_E$ .

**الخطوة 2** حساب متجه التداخل  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  تُتبع الخطوة 3 في الفقرة 2 أعلاه.

**الخطوة 3** دالة التوزيع التراكمي (CDF) لمتغير الترددي  $\bar{Z}_s$

(أ) تحدد المتغيرات  $c_1$  و  $c_2$  و  $c_3$  الواردة في الفقرة 1.8 باستخدام معلمات الوصلة الساتلية والمتجه  $\{\bar{I}_{long}\}$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  والمقدر في الخطوة 5 من الفقرة 2 أعلاه.

(ب) تحدد المتغيرات  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  باستخدام  $c_1$  و  $c_2$  و  $c_3$  على النحو الموضح في الفقرة 1.8؛ علماً بأن  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  هي متجهات يبلغ عدد أبعاد كل منها  $N_{mc}$ .

(ج) تُنشأ متجهات توهين المطر  $\{\bar{A}_\downarrow\}$ ،  $\{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$ ،  $\{\bar{A}_\uparrow\}$  التي يبلغ عدد أبعاد كل منها  $N_{mc}$  باستخدام التوصية ITU-R P.618-8. وهنا المتجه  $\{\bar{A}_{\uparrow,i}\}$  يقابل موقعاً واحداً له صفة تمثيلية في المنطقة  $R$  على النحو المحدد بدالة كثافة الاحتمال PDF  $p_r$ .

(د) ولدى كل إنجاز للمتجهات  $(\bar{A}_\uparrow, \bar{A}_{\uparrow,i}, \bar{A}_\downarrow)$  و  $(d_1, d_2, d_3)$ ، يُحسب  $\bar{Z}_s$  المعبر عنه في المعادلة (15). فيعطي ذلك متجهاً يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  للترددي  $\bar{Z}_s$ .

(هـ) تقدر دالة التوزيع التراكمي (CDF) في  $(\bar{Z}_s, P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}))$  باستخدام هذا المتجه.

**الخطوة 4** دالة التوزيع التراكمي (CDF) لمتغير الترددي  $\bar{Z}_t$

(أ) يُنشأ متجه خطأ توجيه الهوائي،  $\{\phi_r\}$ ، الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$ .

يُنشأ المتجهان  $\{\phi_{r,a}\}$  و  $\{\phi_{r,\epsilon}\}$  اللذان يبلغ عدد أبعاد كل منهما  $N_{mc}$  باستخدام دالة كثافة الاحتمال التي تخص كل منهما  $(PDFs, p_{\phi_a}, p_{\phi_\epsilon})$ . ولدى كل إنجاز للمتجهين  $(\phi_{r,a}, \phi_{r,\epsilon})$ ، يُحسب  $\phi_r$  باستخدام الإجراء الموضح في الملحق 1 بالتوصية ITU-R S.1857.

(ب) يُنشأ متجه التداخل  $\{I_i(r) + I_v(r)\}$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  على النحو الوارد في المعادلة (16).

وكلما أُنجز  $r$  و  $\phi_r$ ، يُحسب  $I_i(r)$  و  $I_v(r)$  على النحو الوارد في المعادلة (16). ويُنشأ من ذلك متجه التداخل الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$ .

(ج) يُحسب متجه  $\bar{Z}_t$  الذي يبلغ عدد أبعاده  $N_{mc}$  باستخدام ذلك على النحو الوارد في المعادلة (18).

(د) تقدر دالة التوزيع التراكمي (CDF) في  $(\bar{Z}_t, P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}))$  باستخدام هذا المتجه.

**الخطوة 5** تقدير  $R_s$

(أ) يُحسب هامش الوصلة اللازم في ظروف الخبو بفعل المطر والتداخل في الأجل الطويل،  $\bar{z}_j$ ، بحيث يبلغ الحد الأقصى من الوقت المسموح به للترددي  $(1 - p_{short}/100) \times p_j\%$

$$(1 - P_{\bar{Z}_s}(\bar{z}_j)) = p_j \times (1 - p_{short}/100).$$

(ب) يُحسب وقت ترددي الوصلة مع التداخل الكلي لهامش هذه الوصلة  $(1 - P_{\bar{Z}_t}(\bar{z}_j))$ .

(ج) يُحسب  $R_s$  باستخدام المعادلة (19).