الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R P.1853-1

(2012/02)

تركيب السلاسل الزمنية للتوهين التروبوسفيري

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

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 الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة بين ITU-T/ITU-R/ISO/IEC 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)

السلسلة	العنـــوان
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 التحديد الراديوي للموقع 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	تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة
SM	إدارة الطيف
SNG	التجميع الساتلي للأخبار
TF	إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت
V	المفردات والمواضيع ذات الصلة

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

النشر الإلكتروني
جنيف، 2013

© ITU 2013
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).

التوصيـــة ITU-R P.1853-1

تركيب السلاسل الزمنية للتوهين التروبوسفيري

(2011-2009)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية طرائق تركيب السلاسل الزمنية لتوهين وتلألؤ المطر في مسيرات الأرض والمسيرات في الاتجاه أرض–فضاء وإجمالي التوهين والتلألؤ التروبوسفيري في مسيرات في الاتجاه أرض–فضاء.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن من الضروري، لتخطيط مناسب للأنظمة أرض–فضاء، أن تتوفر طرائق مناسبة لمحاكاة الحراك الزمني لقناة الانتشار؛

ب) أن ثمة طرائق وضعت تسمح بمحاكاة الحراك الزمني لقناة الانتشار بدقة كافية،

توصـــي

1 باستعمال الطرائق الواردة في الملحق 1 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لتوهين المطر في مسيرات الأرض أو المسيرات في الاتجاه أرض–فضاء؛

2 وباستعمال الطرائق الواردة في الملحق 1 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتلألؤ في مسيرات الأرض أو المسيرات في الاتجاه أرض–فضاء؛

3 وباستعمال الطريقة الواردة في الملحق 1 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لإجمالي التوهين والتلألؤ التروبوسفيري في مسيرات في الاتجاه أرض–فضاء.

الملحق 1

1 مقدمة

يقتضي تخطيط أنظمة الاتصالات الراديوية للأرض وللاتجاه أرض–فضاء وتصميمها القدرة على تركيب الحراك الزمني لقناة الانتشار. فقد تلزم هذه المعلومات مثلاً لتصميم مختلف تقنيات التخفيف من الخبو من قبيل التشفير التكييفي والتشكيل التكييفي والتحكم في قدرة الإرسال، *من جملة أمور أخرى*.

وتقدم المنهجية المعروضة في هذا الملحق تقنية لتركيب السلاسل الزمنية لتوهين وتلألؤ المطر في مسيرات الأرض والمسيرات في الاتجاه أرض–فضاء وإجمالي التوهين والتلألؤ التروبوسفيري في مسيرات في الاتجاه أرض–فضاء على نحوٍ يقارب إحصاءات توهين المطر في موقع معين.

2 طريقة تركيب السلاسل الزمنية لتوهين المطر

1.2 نظرة عامة

تفترض طريقة تركيب السلاسل الزمنية أن إحصاءات المدى الطويل لتوهين المطر لها توزيع لوغاريتمي عادي. ففيما أن طرائق قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بتوهين المطر في التوصية ITU-R P.530 لمسيرات الأرض والتوصية ITU-R P.618 لمسيرات أرض–فضاء ليست لوغاريتمية عادية تماماً، يمكن الحصول على تقريب جيد لتوزيعات توهين المطر هذه بالتوزيع اللوغاريتمي العادي عبر المدى الأهم من احتمالات التجاوز. وإذ تتوقع طرائق التنبؤ بتوهين المطر في مسيرات الأرض والمسيرات في الاتجاه أرض–فضاء قيمة غير صفرية لتوهين المطر إن فاقت احتمالات التجاوز احتمال المطر، فإن طريقة تركيب السلاسل الزمنية تعدل السلاسل الزمنية للتوهين بحيث إن توهين المطر المقابل لاحتمالات تجاوز أكبر من احتمال المطر يساوي 0 dB.

وفي مسيرات الأرض، تصلح طريقة تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و40 GHz بأطوال مسير تتراوح ما بين 2 km و60 km.

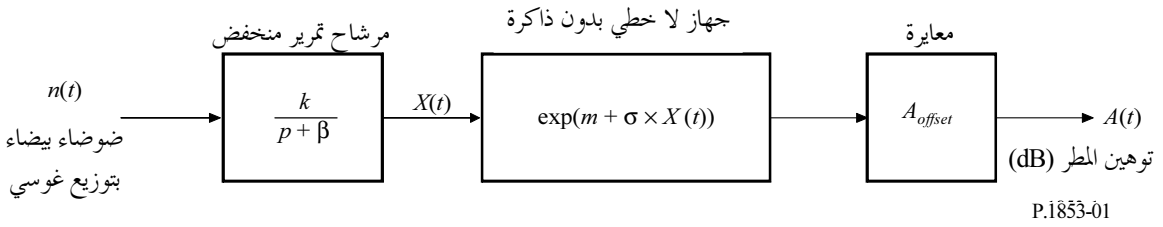
وفي المسيرات في الاتجاه أرض–فضاء، تصلح طريقة تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و55 GHz وفي زوايا ارتفاع تتراوح بين 5° و90°.

وتولد طريقة تركيب السلاسل الزمنية سلاسل زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية وإحصاءات ميل الخبو ومدته لأحداث توهين المطر. كما تُستنسخ إحصاءات المدة ما بين خبو وآخر، ولكن ضمن أحداث التوهين الفردية حصراً.

وكما يظهر في الشكل 1، تركَّب السلاسل الزمنية لتوهين المطر، $A(t)$، من عملية منفصلة لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(t)$. فتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتحوَّل من توزيع عادي إلى توزيع لوغاريتمي عادي على نحو لا خطي وغير محفوظ في ذاكرة، وتعايَر لتطابق الإحصاءات المرغوبة لتوهين المطر.

الشـــكل 1

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية لتوهين المطر



يعرَّف مركّب السلاسل الزمنية بخمس معلمات:

m: متوسط التوزيع اللوغاريتمي العادي لتوهين المطر

σ: الانحراف المعياري للتوزيع اللوغاريتمي العادي لتوهين المطر

p: احتمال المطر

β: معلمة تصف الحراك الزمني (s^{-1})

A_{offset}: تخالف يعدّل السلاسل الزمنية لتطابق احتمال المطر (dB).

2.2 طريقة الخطى المتدرجة

تُستعمل طريقة الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية لتوهين المطر $A_{rain}(kT_s)$، ($k = 1, 2, 3, ...$)، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، وk هو مؤشر كل عينة.

*ألف تقدير m و*σ

تحدَد معلمتا m وσ من التوزيع التراكمي لتوهين المطر مقابل احتمال حدوثه. ويمكن تحديد إحصاءات توهين المطر من البيانات المحلية المقيسة، أو في حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى طرائق التنبؤ بتوهين المطر الواردة في التوصية ITU-R P.530 لمسيرات الأرض وفي التوصية ITU-R P.618 لمسيرات الاتجاه أرض–فضاء.

وللحصول على المسير والتردد المرغوبين، يتعين إجراء ملاءمة لوغاريتمية عادية لتوهين المطر مقابل احتمال حدوثه، على النحو التالي:

الخطوة ألف1: حدد احتمال المطر P^{rain} على المسير (كنسبة مئوية من الوقت). ويمكن تقريب P^{rain} بصورة جيدة على أنه احتمال $(P_0(Lat,Lon))$ المستخرج في التوصية ITU–R P.837.

الخطوة ألف2: أنشئ مجموعة من الأزواج $([P_i, A_i])$ حيث P_i (لنسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين A_i (dB) زيادةً، حيث $(P_i \le P^{rain})$. وينبغي للقيم المحددة لـ P_i أن تراعي مجال اهتمام الاحتمالات، على أن المقترح هو المجموعة التالية من النسب المئوية من الوقت 0,01 و0,02 و0,03 و0,05 و0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10%، بشرط $(P_i \le P^{rain})$.

الخطوة ألف3: حول مجموعة الأزواج $[P_i, A_i]$ إلى $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right), \ln A_i \right]$،

حيث:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}} \mathrm{d}t \tag{1}$$

الخطوة ألف4: حدد المتحولين $m_{\ln A_i}$ و$\sigma_{\ln A_i}$ بإجراء ملاءمة أقل عدد من المربعات مع $\ln A_i = \sigma_{\ln A_i}\, Q^{-1}\left(\frac{P_i}{100}\right) + m_{\ln A_i}$ لجميع قيم i. ويمكن تحديد ملاءمة أقل عدد من المربعات باستعمال "إجراء الخطى التدرجية لتقريب التوزيع التراكمي المتمم بتوزيع لوغاريتمي عادي تراكمي متمم" الذي يأتي وصفه في التوصية ITU-R P.1057.

باء معلمة مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة باء1: المعلمة $(\beta = 2 \times 10^{-4}\ (\mathrm{s}^{-1}))$.

جيم تخالف التوهين

الخطوة جيم1: يُحسب تخالف التوهين A_{offset} (dB) كما يلي:

$$A_{offset} = \mathrm{e}^{\,m + \sigma Q^{-1}\left(\frac{P^{rain}}{100}\right)} \tag{2}$$

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركَّب السلاسل الزمنية لتوهين المطر $(A_{rain}(kT_s), k = 1, 2, 3, ...)$ كما يلي:

الخطوة دال1: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(kT_s)$، حيث $(k = 1, 2, 3, ...)$ بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة دال2: اجعل ($X(0) = 0$).

الخطوة دال3: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، ($n(kT_s)$)، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

$$X(kT_s) = \rho \times X((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \qquad \text{for } k = 1, 2, 3, ... \tag{3}$$

حيث:

$$\rho = e^{-\beta T_s} \tag{4}$$

الخطوة دال4: احسب ($Y_{rain}(kT_s)$)، من أجل ($k = 1, 2, 3, ...$) كما يلي:

$$Y_{rain}(kT_s) = e^{m + \sigma X(kT_s)} \tag{5}$$

الخطوة دال5: احسب ($A_{rain}(kT_s)$ (dB)، من أجل ($k = 1, 2, 3, ...$) كما يلي:

$$A_{rain}(kT_s) = \text{Maximum}\left[Y(kT_s) - A_{offset}, 0\right] \tag{6}$$

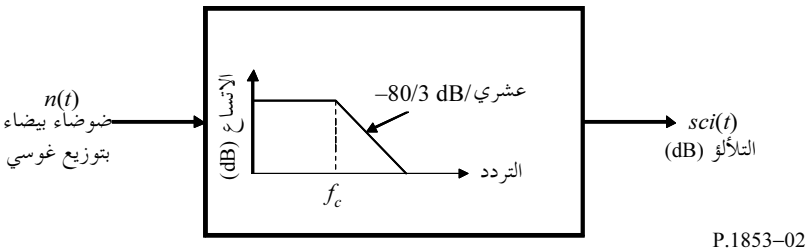
الخطوة دال6: أهمل أول 200 000 عينة من السلاسل الزمنية المركبة (بما يقابل الحالة العابرة للمرشاح). وتُمثِّل أحداث توهين المطر بتتابعات قيمها أعلى من 0 dB لعدد متعاقب من العينات.

3 طريقة تركيب السلاسل الزمنية للتلألؤ

كما يظهر في الشكل 2، يمكن توليد السلاسل الزمنية للتلألؤ، $sci(t)$، بتمرير الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي، ($n(t)$)، عبر مرشاح بحيث يكون لطيف الأس التقاربي للسلاسل الزمنية المرشحة تردد تناقص، $f^{-8/3}$، وتردد قطع، f_c، بمقدار 0,1 Hz. علماً بأن الانحراف المعياري للتلألؤ يتزايد مع تزايد توهين المطر.

الشـــكل 2

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية للتلألؤ



P.1853–02

4 طريقة تركيب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من الماء السائل في السحب

1.4 نظرة عامة

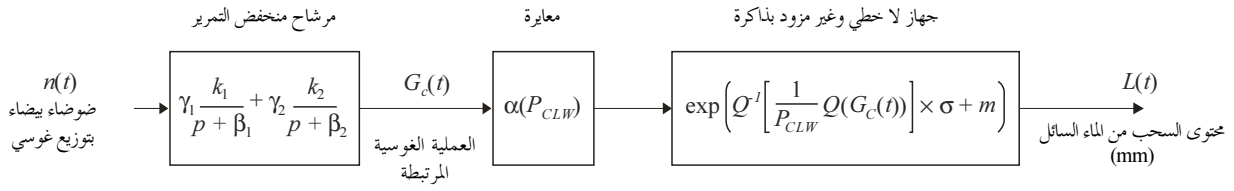
عملاً بمقترح التوصية ITU-R P.840، تقدم طريقة تركيب السلاسل الزمنية عرضاً تقريبياً لإحصاءات المحتوى المتكامل من الماء السائل (ILWC) بواسطة التوزيع اللوغاريتمي العادي.

وتولد طريقة تركيب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية، ومعدل التغير ومدة الإحصاءات في أحداث المحتوى السائل في السحب.

وكما يظهر في الشكل 3، تركَّب السلاسل الزمنية للمحتوى السائل $L(t)$ من عملية منفصلة لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي $n(t)$. فتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتُبتر لتتناسب مع الاحتمال المرغوب لتشكل السحب، وتحوَّل من توزيع عادي مبتور إلى توزيع لوغاريتمي مكيَّف على نحو لا خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشـــكل 3

المخطط الرئيسي لمركِّب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من الماء السائل



P.1853–03

يعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بثمانِ معلمات:

m: متوسط التوزيع اللوغاريتمي العادي لتوهين المطر

σ: الانحراف المعياري للتوزيع اللوغاريتمي العادي لتوهين المطر

P_{CLW}: احتمال تشكل السُحب

α: عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي

β_1: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s^{-1})

β_2: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s^{-1})

γ_1: معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية

γ_2: معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية.

2.4 طريقة الخطى المتدرجة

تُستعمل طريقة الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من الماء السائل في السحب $L(kT_s)$، ($k = 1, 2, 3, ...,$) حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، وk هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير m وσ وP_{CLW}

تتوفر معلمات التوزيع اللوغاريتمي العادي من المتوسط m والانحراف المعياري σ واحتمال تشكل السُحب P_{CLW} في شكل خرائط من التوصية ITU–R P.840.

ولتحديد موقع في دائرة الاهتمام، تحدَد معلمات اللوغاريتم العادي الشرطية على النحو التالي:

الخطوة ألف1: تحدَد المعلمات m_1 وm_2 وm_3 وm_4 وσ_1 وσ_2 وσ_3 وσ_4 وP_{CLW1} وP_{CLW2} وP_{CLW3} وP_{CLW4} في النقاط الشبكية الأربع الأقرب، من الخرائط الرقمية الواردة في التوصية ITU-R P.840.

الخطوة ألف2: تحدَد قيمة المعلمات m وσ وP_{CLW} في الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم الأربع لكل معلمة في النقاط الشبكية الأربع على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة باء1: المعلمة ($\beta_1 = 7{,}17 \times 10^{-4}$ (s^{-1})).

الخطوة باء2: المعلمة ($\beta_2 = 2{,}01 \times 10^{-5}$ (s^{-1})).

الخطوة باء3: المعلمة ($\gamma_1 = 0{,}349$).

الخطوة باء4: المعلمة ($\gamma_2 = 0{,}830$).

جيم عتبة البتر

الخطوة جيم1: تُحسب عتبة البتر α على النحو التالي:

$$\alpha = Q^{-1}(P_{CLW}) \tag{7}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة A.2.2 ويرد توثيقها في التوصية ITU-R P.1057.

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركَّب السلاسل الزمنية ($L(kT_s)$, k = 1, 2, 3, ...) كما يلي:

الخطوة دال1: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، ($n(kT_s)$، حيث (k = 1, 2, 3, ...) بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة دال2: اجعل ($X_1(0) = 0$; $X_2(0) = 0$).

الخطوة دال3: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، ($n(kT_s)$، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

$$\begin{cases} X_1(kT_s) = \rho_1 \times X_1((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_1^2} \times n(kT_s) \\ X_2(kT_s) = \rho_2 \times X_2((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_2^2} \times n(kT_s) \end{cases} \quad \text{for } k = 1, 2, 3, ... \tag{8}$$

حيث:

$$\begin{cases} \rho_1 = e^{-\beta_1 T_s} \\ \rho_2 = e^{-\beta_2 T_s} \end{cases} \tag{9}$$

الخطوة دال4: احسب ($G_c(kT_s)$، من أجل (k = 1, 2, 3, ...) كما يلي:

$$G_C(kT_s) = \gamma_1 \times X_1(kT_s) + \gamma_2 \times X_2(kT_s) \tag{10}$$

الخطوة دال5: احسب ($L(kT_s)$ (dB)، من أجل (k = 1, 2, 3, ...) كما يلي:

$$L(kT_s) = \begin{cases} \exp\left(Q^{-1}\left[\frac{1}{P_{CLW}} Q(G_C(kT_s)) \right] \times \sigma + m \right) & \text{for} \quad G_C(kT_s) > \alpha \\ 0 & \text{for} \quad G_C(kT_s) \le \alpha \end{cases} \tag{11}$$

الخطوة دال6: أهمل أول 000 500 عينة من السلاسل الزمنية المركبة (بما يقابل الحالة العابرة للمرشاح). وتُمثِّل أحداث تشكل السحب بتتابعات قيمها أعلى من 0 mm لعدد متعاقب من العينات.

5 طريقة تركيب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء

1.5 نظرة عامة

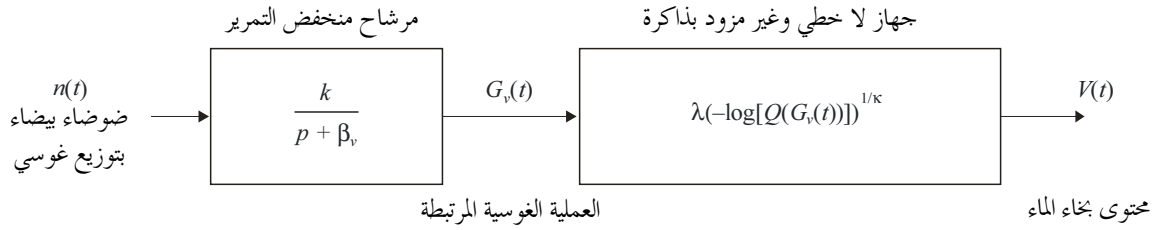
تفترض طريقة تركيب السلاسل الزمنية أن الإحصاءات على المدى الطويل للمحتوى المتكامل من بخار الماء (IWVC) تتوزع وفق توزيع ويبول (Weibull). وفي حين أن توزيعات IWVC لدى قطاع الاتصالات الراديوية المتوقعة في التوصية ITU–R P.836 ليست توزيعات ويبول تماماً، فإن توزيع ويبول يعرض صورة تقريبية جيدة لتوزيعات IWVC على امتداد المدى الأهم لاحتمالات التجاوزات.

وتولد طريقة تركيب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية للمحتوى من بخار الماء وتوزيعه.

وكما يظهر في الشكل 4، تركَّب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء $V(t)$ من عملية منفصلة لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي $n(t)$. فتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتحوَّل من توزيع عادي إلى توزيع ويبول (Weibull) على نحو لا خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشـــكل 4

المخطط الرئيسي لمركِّب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء



P.1853–04

يعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بثلاث معلمات:

κ: معلمة توزع المحتوى المتكامل من بخار الماء (IWVC) وفق توزيع ويبول (Weibull)

λ: معلمة توزع المحتوى المتكامل من بخار الماء (IWVC) وفق توزيع ويبول (Weibull)

β_V: معلمة تصف الحراك الزمني (s^{-1}).

2.5 طريقة الخطى المتدرجة

تُستعمل طريقة الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء $(V(kT_s),\ k = 1, 2, 3, ...,)$ حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، وk هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير κ وλ

تحدَد المعلمتان κ وλ من التوزيع التراكمي للمحتوى المتكامل من بخار الماء (IWVC) مقابل احتمال وقوعه. ويمكن تحديد إحصاءات IWVC من البيانات المحلية المقيسة، أو، في ظل غياب البيانات المقيسة، يمكن أن تستخدم طرائق التنبؤ بالمحتوى المتكامل من بخار الماء الواردة في التوصية ITU–R P.836.

ولتحديد موقع في دائرة الاهتمام، تجرى ملاءمة ويبول (Weibull) مقابل احتمال الحدوث، على النحو التالي:

الخطوة ألف1: إنشاء أزواج ($[P_i, V_i]$) حيث P_i (% من الزمن) هو احتمال تجاوز المحتوى المتكامل من بخار الماء V_i(mm). وينبغي لقيم P_i المحددة أن تأخذ في الاعتبار مدى الاحتمالات الذي يسترعي الاهتمام، ولكن المجموعة المقترحة من النسب المئوية من الزمن هي 0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و50%.

الخطوة ألف2: تحويل مجموعة أزواج ($[P_i, V_i]$) إلى $\left[\ln(-\ln P_i), \ln V_i\right]$.

الخطوة ألف3: تحديد المتغيرين الوسيطين a وb بمواءمة الحد الأدنى من المربعات إلى دالة خطية:

$$\ln(-\ln P_i) = a \ln V_i + b \tag{12}$$

على النحو التالي:

$$\begin{cases} a = \dfrac{n \sum_{i=1}^{n} \ln V_i \ln(-\ln P_i) - \sum_{i=1}^{n} \ln V_i \sum_{i=1}^{n} \ln(-\ln P_i)}{n \sum_{i=1}^{n} [\ln V_i]^2 - \left[\sum_{i=1}^{n} \ln V_i\right]^2} \\ b = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \ln(-\ln P_i) - a \sum_{i=1}^{n} \ln V_i}{n} \end{cases} \tag{13}$$

الخطوة ألف4: تحديد المعلمتين κ وλ على النحو التالي:

$$\begin{cases} \kappa = a \\ \lambda = \exp\left(-\dfrac{b}{a}\right) \end{cases} \tag{14}$$

باء معلمة مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة باء1: المعلمة ($\beta_V = 3{,}24 \times 10^{-6}$ (s^{-1})).

جيم تركيب السلاسل الزمنية

تركّب السلاسل الزمنية ($V(kT_s)$, k = 1, 2, 3, ...) كما يلي:

الخطوة جيم1: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، ($n(kT_s)$، حيث (k = 1, 2, 3, ...) بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطو جيم2: اجعل ($G_V(0) = 0$).

الخطو جيم3: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، ($n(kT_s)$، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

$$G_V(kT_s) = \rho \times G_V((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho^2} \times n(kT_s) \qquad \text{for } k = 1, 2, 3, ... \tag{15}$$

حيث:

$$\rho = e^{-\beta_V T_s} \tag{16}$$

الخطو جيم4: احسب $V(kT_s)$ من أجل ($k = 1, 2, 3, ...$) كما يلي:

$$V(kT_s) = \lambda(-\log[Q(G_V(kT_s))])^{1/\kappa} \quad (17)$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة A.2.2 ويرد توثيقها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة جيم5: أهمل أول 000 000 5 عينة من السلاسل الزمنية المركبة (بما يقابل الحالة العابرة للمرشاح).

6 طريقة تركيب السلاسل الزمنية لإجمالي التوهين والتلألؤ في مسيرات أرض–فضاء

1.6 نظرة عامة

تتولد السلاسل الزمنية لإجمالي التوهين والتلألؤ باستخدام الخطة الموضحة في الشكل 5 والاستفادة من الأساليب المذكورة في الفقرات أعلاه. وقد أُدخل ارتباط مناسب بين السحب والمطر. ويُضمن تولد السحب دائماً خلال أحداث المطر بمعامل الارتباط هذا وبكون احتمال تشكل السحب على الوصلة أعلى من احتمال المطر.

ويجري الاستكمال الداخلي لمحتوى الماء السائل في السحب إذا ما تم التحقق في وقت واحد من المعيارين التاليين:

- هطول المطر (توهين المطر المركَّب أكبر من 0 dB)؛
- تجاوز المحتوى المتكامل من بخار الماء (IWVC) عتبة 1 mm.

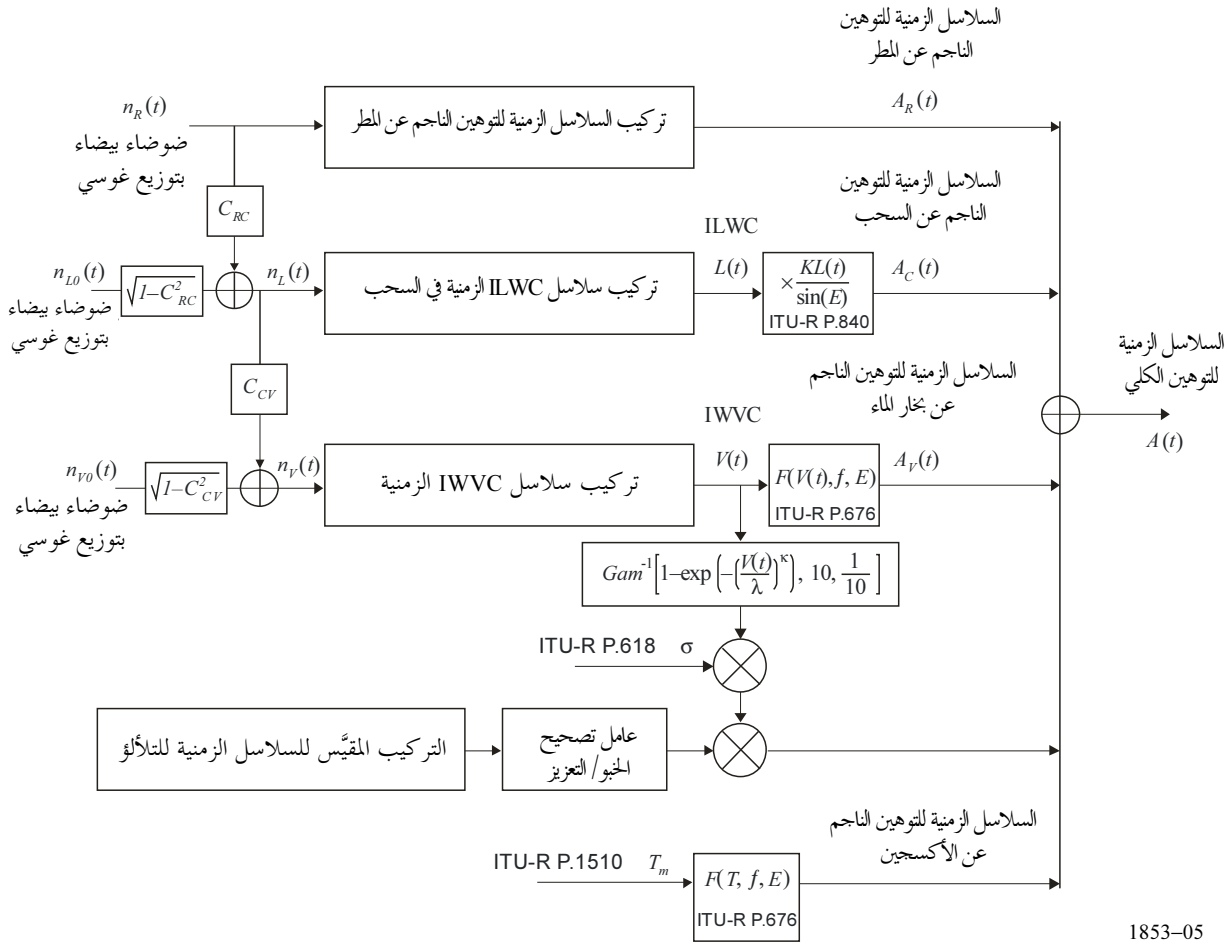
ونظراً إلى الانخفاض الشديد في قيمة المعلمة الحراكية لمكون المحتوى المتكامل من بخار الماء، يتعين إهمال أول $\mathbf{5 \times 10^6}$ عينة من السلاسل الزمنية المركبة لجميع المؤثرات المعتبرة (بما يقابل الحالة العابرة لمرشاح المحتوى المتكامل من بخار الماء).

وفي مسيرات أرض–فضاء، تصلح طريقة تركيب السلاسل الزمنية للترددات ما بين 4 GHz و55 GHz وزوايا الارتفاع ما بين 5º و90º. وفي بعض الظروف (مثل الترددات المنخفضة، و المرتفعات المعتدلة إلى شاهقة العلو، والمناطق ذات المناخ المعتدل)، يمكن تقريب إجمالي التوهين بالتوهين الناجم عن المطر بما يكفي من الدقة.

وتولد طريقة تركيب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية وإحصاءات ميل الخبو ومدته لأحداث التوهين الناجم عن المطر. كما تُستنسخ إحصاءات المدة ما بين خبو وآخر، ولكن ضمن أحداث التوهين الفردية حصراً.

الشـــكل 5

المخطط الرئيسي لمركّب السلاسل الزمنية لإجمالي التوهين والتلألؤ



2.6 طريقة الخطى المتدرجة

تُستعمل طريقة الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين $A(kT_s)$، $(k = 1, 2, 3, ...)$، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، وk هو مؤشر كل عينة.

ألف معاملا الارتباط

الخطوة ألف1: المعلمة C_{RC} = 1.

الخطوة ألف2: المعلمة C_{CV} = 0,8.

باء متعددات حدود التلألؤ

الخطوة باء1: تحديد متعددات حدود خبو التلألؤ وتحسينه كما يلي:

$$a_{Fade}(p) = -0{,}061 \times (\log_{10}(P))^3 + 0{,}072 \times (\log_{10}(P))^2 - 1{,}71 \times \log_{10}(P) + 3{,}0$$
$$a_{Enhanc}(p) = -0{,}0597 \times (\log_{10}(P))^3 - 0{,}0835 \times (\log_{10}(P))^2 - 1{,}258 \times \log_{10}(P) + 2{,}672 \quad (18)$$

جيم تركيب السلاسل الزمنية

تركَّب السلاسل الزمنية $(A(kT_s), k = 1, 2, 3, ...)$ كما يلي:

الخطوة جيم1: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $(n_R(kT_s)$، حيث $(k = 1, 2, 3, ...)$ بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة جيم2 : ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $(n_{L0}(kT_s)$، حيث $(k = 1, 2, 3, ...)$ بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة جيم3: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $(n_{V0}(kT_s)$، حيث $(k = 1, 2, 3, ...)$ بمتوسط صفري وبتغيّر الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة جيم4: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $(n_L(kT_s)$، كما يلي:

$$n_L(kT_s) = C_{RC} \times n_R(kT_s) + \sqrt{1 - C_{RC}^2} \times n_{L0}(kT_s) \tag{19}$$

الخطوة جيم5: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $(n_V(kT_s)$، كما يلي:

$$n_V(kT_s) = C_{CV} \times n_L(kT_s) + \sqrt{1 - C_{CV}^2} \times n_{V0}(kT_s) \tag{20}$$

الخطوة جيم6: احسب السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن المطر $A(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $(n_R(kT_s)$، باتباع الإجراء الموصى به في الفقرة 2 من هذه التوصية واستعض عن *الخطوة دال6* في الفقرة 2 بما يلي: أهمل أول 000 00 5 عينة من السلاسل الزمنية المركبة.

الخطوة جيم7: احسب السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن السُحب $L(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $n_L(kT_s)$ باتباع الإجراء الموصى به في الفقرة 4 من هذه التوصية واستعض عن *الخطوة دال6* في الفقرة 4 بما يلي: أهمل أول 000 500 عينة من السلاسل الزمنية المركبة.

الخطوة جيم8: حوّل السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من الماء السائل في السحب $L(kT_s)$ إلى السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن السحب $A_C(kT_s)$ باتباع الطريقة الموصى بها في التوصية ITU-R P.840.

الخطوة جيم9: حدد دلالات الوقت $(k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, ...)$، حيث يتم التحقق من الشرطين التاليين في آن معاً:

$$\begin{aligned} 1 - A_R(kT_s) &> 0 \\ 2 - L(kT_s) &> 1 \end{aligned} \tag{21}$$

الخطوة جيم10: أهمل القيم المحسوبة السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن السحب $A_C(kT_s)$ المقابلة لدلالات الوقت $(k_1T_s, k_2T_s, k_3T_s, ...)$، والمحددة في *الخطوة جيم8* واحسب بدلاً منها السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن المطر $A(kT_s)$ لدلالات الوقت هذه على أساس استكمال داخلي خطي مقابل الزمن بدءاً من القيم غير المهملة للتوهين الناجم عن السحب.

الخطوة جيم11: احسب السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء $V(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $n_V(kT_s)$ باتباع الإجراء الموصى به في الفقرة 5 من هذه التوصية.

الخطوة جيم12: حوّل السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء $V(kT_s)$ إلى السلاسل الزمنية للتوهين الناجم عن بخار الماء $A_V(kT_s)$ باتباع طريقة التقدير التقريبي للتوهين الناجم عن بخار الماء في المسير المائل الموصى بها في التوصية ITU–R P.676 (الفقرة 3.2 من الملحق 2).

الخطوة جيم13: احسب المتوسط السنوي للحرارة T_m في الموقع الذي يسترعي الاهتمام باستخدام قيم تجريبية في حال توفرها. وإلا يمكن استخدام الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.1510 للتنبؤ بالمتوسط السنوي للحرارة T_m.

الخطوة جيم14: حوّل المتوسط السنوي للحرارة T_m إلى المتوسط السنوي للتوهين الناجم عن الأكسجين A_O باتباع الطريقة الموصى بها في التوصية ITU-R P.676.

الخطوة جيم15: ركِّب السلاسل الزمنية للتلألؤ في وحدة التغاير $Sci_0(kT_s)$ باتباع الطريقة الموصى بها في الفقرة 3 من هذه التوصية.

الخطوة جيم16: احسب السلاسل الزمنية لمعامل التصحيح $C_x(kT_s)$ للتمييز بين حالات خبو التلألؤ وحالات تعززه:

$$C_x(k.Ts) = \begin{cases} \dfrac{a_{Fade}\left(100 \times Q[Sci_0(K.Ts)]\right)}{a_{Enhanc}\left(100 \times Q[Sci_0(K.Ts)]\right)} & \text{for} \quad Sci_0(K.Ts) > 0 \\ 1 & \text{for} \quad Sci_0(K.Ts) \le 0 \end{cases} \tag{22}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة A.2.2 ويرد توثيقها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة جيم17: حوّل السلاسل الزمنية للمحتوى المتكامل من بخار الماء $V(kT_s)$ إلى السلاسل الزمنية بتوزيع غاما $Z(kT_s)$ كما يلي:

$$Z(k.Ts) = Gam^{-1}\left[1 - \exp\left(-\left(\frac{V(k.Ts)}{\lambda}\right)^{\kappa}\right), 10, \frac{1}{10}\right] \tag{23}$$

حيث κ وλ هما معلمتا توزيع ويبول (Weibull) للمحتوى المتكامل من بخار الماء، والدالة *Gam* هي دالة توزيع غاما المتمم كما يرد توثيقها في التوصية ITU-R P.1057 والمعرَّفة كما يلي:

$$Gam(x, k, \vartheta) = \int_x^{\infty} \frac{x^{k-1} \exp(-x/\theta)}{\Gamma(k)\theta^k} dt \tag{24}$$

الخطوة جيم18: احسب الانحراف المعياري σ للتلألؤ باتباع الطريقة الموصى بها في التوصية ITU-R P.618.

الخطوة جيم19: احسب السلاسل الزمنية للتلألؤ $Sci(kT_s)$ كما يلي:

$$Sci(kT_s) = \begin{cases} \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(k.Ts) \times Z(kT_s) \times [A_R(kT_s)]^{\frac{5}{12}} & \text{for} \quad A_R(kT_s) > 1 \\ \sigma \times Sci_0(kT_s) \times C_x(k.Ts) \times Z(kT_s) & \text{for} \quad A_R(kT_s) \le 1 \end{cases} \tag{25}$$

الخطوة جيم20: احسب السلاسل الزمنية للتوهين التروبوسفيري الكلي $A(kT_s)$ كما يلي:

$$A(kT_s) = A_R(kT_s) + A_C(kT_s) + A_V(kT_s) + A_O + Sci(kT_s) \tag{26}$$