

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R P.1853-2
(2019/08)

تركيب السلاسل الزمنية
لعوامل الترددي التروبوسفيرية

السلسلة P

انتشار الموجات الراديوية

الاتحاد الدولي للاتصالات



تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استخدام 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 القرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استخدامها 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>)

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 التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
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، 2020

© ITU 2020

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

التوصية ITU-R P.1853-2

تركيب السلاسل الزمنية لعوامل الترددي التروبوسفيرية

(2019-2011-2009)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية أساليب تركيب السلاسل الزمنية لعوامل الترددي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتألؤ الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد والمواقع المتعددة على مسيرات أرض-فضاء وأسلوب تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري على مسيرات أرضية أحادية.

مصطلحات أساسية

التوهين بالأوكسجين، توهين ببخار الماء، التوهين السحابي، التوهين المطري، التألؤ، توهين المسار المائل الأحادي، المواقع المتعددة، توهين المسار المائل، التوهين المطري الكلي لوصلة أرضية أحادية، التوهين، مركب السلاسل الزمنية، الوصلات المتعددة

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن من الضروري، لتخطيط مناسب للأنظمة أرض-فضاء، أن تتوفر أساليب مناسبة لتركيب الاختلاف المكاني والحرك الزمني لقناة الانتشار؛

(ب) أن ثمة أساليب وضعت تسمح بتركيب الاختلاف المكاني والحرك الزمني لقناة الانتشار بدقة كافية،

توصي

1 باستخدام الأساليب الواردة في الملحق 1 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لمكونات التوهين التروبوسفيري في الموقع الواحد والمواقع المتعددة والتألؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة على مسيرات أرض-فضاء. وخاصة:

(أ) ينبغي استخدام القسمين 2.2 و 3.2 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي للأوكسجين في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

(ب) ينبغي استخدام القسمين 1.3 و 2.3 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

(ج) ينبغي استخدام القسمين 1.4 و 2.4 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

(د) ينبغي استخدام القسمين 1.5 و 2.5 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

(هـ) ينبغي استخدام القسم 6 لتركيب التألؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة،

2 باستخدام الأساليب الواردة في الملحق 2 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيري في موقع واحد ومواقع متعددة على مسيرات أرض-فضاء. وخاصة:

(أ) ينبغي استخدام القسم 2 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي في موقع واحد؛

(ب) ينبغي استخدام القسم 3 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي في مواقع متعددة؛

3 باستخدام الأسلوب الوارد في الملحق 3 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري على مسيرات أرضية أحادية.

الملحق 1

تركيب السلاسل الزمنية لعوامل الترددي التروبوسفيري الفردية في موقع واحد ومواقع متعددة على مسيرات أرض-فضاء

1 مقدمة

تقدم المنهجية المعروضة في هذا الملحق تقنيات لتركيب عوامل الترددي التروبوسفيري (التوهين الغازي والسحابي والمطري وخبو وتحسين التلألؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة) الفردية والمركبة في موقع واحد ومواقع متعددة على مسيرات أرض-فضاء

2 التوهين بالأوكسجين

ينبغي استخدام الأساليب الموضحة أدناه لتركيب قيمة ثابتة للتوهين الغازي بالأوكسجين.

1.2 الخرائط الرقمية

تعد البيانات السنوية للضغط السطحي، P_{annual} (hPa)، وبيانات كثافة بخار الماء السطحي السنوية المتوسطة، WV_{annual} (g/m^3)، جزءاً أساسياً من هذه التوصية وهي متاحة كخرائط رقمية في الملف المضغوط R-REC-P.1853-2-201908-E. وتتراوح شبكة خط العرض بين 90- درجة شمالاً و+90 درجة شمالاً في خطوط تبلغ كل منها 0,75 درجة، وتتراوح شبكة خط الطول بين 180- درجة شرقاً و+180 درجة شرقاً في خطوط تبلغ كل منها 0,75 درجة.

ويمكن اشتقاق متوسط الضغط السطحي السنوي وكثافة بخار الماء السطحي السنوي في أي مكان مرغوب على سطح الأرض وفقاً للخطوات التالية:

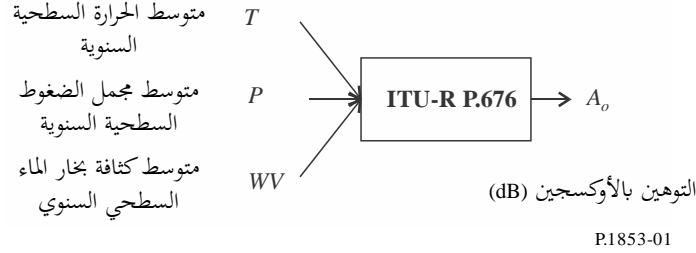
- (أ) حدد نقاط الشبكة الأربع (Lat_1, Lon_1) و (Lat_2, Lon_2) و (Lat_3, Lon_3) و (Lat_4, Lon_4) المحيطة بالموقع المطلوب (Lat, Lon) ؛
- (ب) حدد متوسط الضغوط السطحية السنوية، P_1 و P_2 و P_3 و P_4 ، أو متوسط كثافة بخار الماء السطحي السنوي، WV_1 و WV_2 و WV_3 و WV_4 على سطح الأرض عند نقاط الشبكة الأربع المحيطة؛
- (ج) حدد P أو WV في الموقع المطلوب (Lat, Lon) بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية باستخدام نقاط الشبكة الأربع المحيطة على النحو الموضح في التوصية ITU-R P.1144.

وقد اشتق متوسط الضغط السطحي السنوي والخرائط السنوية المتوسطة لكثافة بخار الماء السطحي من 36 عاماً (1979-2014) من بيانات المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (ECMWF).

2.2 تشكيلة الموقع الواحد

الشكل 1

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي بالأوكسجين في موقع واحد



الخطوة SS_OX_1 : احسب متوسط الحرارة السطحية السنوية T لموقع يسترعي الاهتمام باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في التوصية ITU-R P.1510 للتنبؤ بالمتوسط T .

الخطوة SS_OX_2 : احسب متوسط الضغط السطحي السنوي P لموقع يسترعي الاهتمام باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في الفقرة 1.2 للتنبؤ بالمتوسط P .

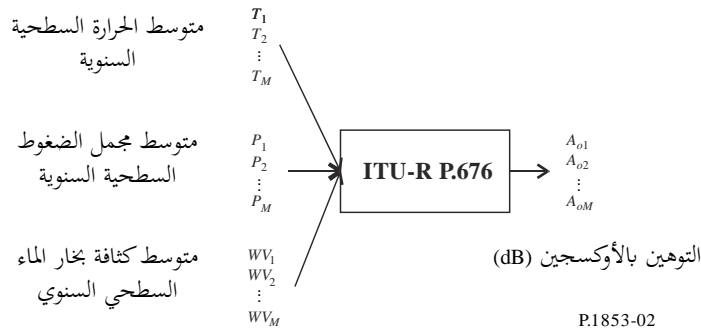
الخطوة SS_OX_3 : احسب متوسط كثافة بخار الماء السطحي السنوي WV لموقع يسترعي الاهتمام باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في الفقرة 1.2 من هذا الملحق للتنبؤ بالمتوسط WV .

الخطوة SS_OX_4 : حول متوسط الحرارة السنوية T ، ومتوسط الضغط السطحي السنوي P ، ومتوسط كثافة بخار الماء السطحي WV إلى متوسط التوهين السنوي بالأوكسجين $A_o = \frac{h_o Y_o}{\sin \phi}$ وفقاً لأسلوب "التقدير التقريبي للتوهين الغازي في مدى التردد 1-350 GHz" الموصوف في التوصية ITU-R P.676 لما يسترعي الاهتمام من تردد وزاوية ارتفاع وعلو.

3.2 تشكيلة المواقع المتعددة

الشكل 2

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي بالأوكسجين في مواقع متعددة



الخطوة MS_OX_1 : احسب متوسط الحرارة السطحية السنوية T_i ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ لمواقع عددها M تسترعي الاهتمام، باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في التوصية ITU-R P.1510 للتنبؤ بالمتوسط T_i .

الخطوة MS_OX_2 : احسب متوسط الضغط السطحي السنوي P_i ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، لمواقع عددها M تسترعي الاهتمام، باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في الفقرة 1.2 من هذا الملحق للتنبؤ بالمتوسط P_i .

الخطوة MS_OX_3 : احسب متوسط كثافات بخار الماء السطحي السنوي WV_i ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، لمواقع عددها M تسترعي الاهتمام، باستخدام البيانات المحلية. وإذا لم تكن البيانات المحلية متاحة، يمكن استخدام الأسلوب الوارد في الفقرة 1.2 من هذا الملحق للتنبؤ بالمتوسط WV_i .

الخطوة MS_OX_4 : حول متوسط الحرارة السنوية T_i ، ومتوسط الضغط السطحي السنوي P_i ، ومتوسط كثافة بخار الماء السطحي WV_i إلى متوسط التوهين السنوي بالأوكسجين $A_{oi} = \frac{h_{oi} Y_{oi}}{\sin \phi_i}$ وفقاً لأسلوب "التقدير التقريبي للتوهين الغازي في مدى التردد 1-350 GHz" الموصوف في التوصية ITU-R P.676 لما يسترعي الاهتمام من تردد وزوايا ارتفاع وقيم علو.

3 التوهين ببخار الماء

1.3 تشكيلة الموقع الواحد

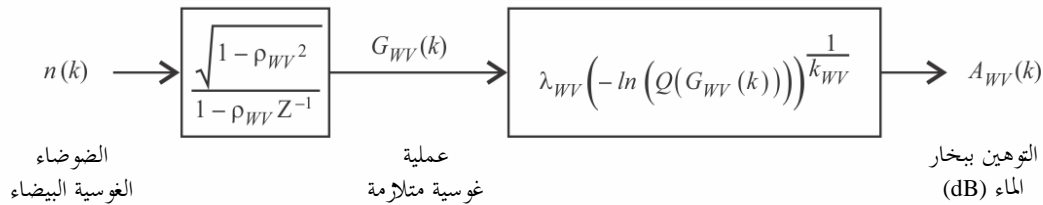
1.1.3 نظرة عامة

يفترض أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في موقع واحد أن الإحصاءات على المدى الطويل للتوهين ببخار الماء (A_{WV}) تتوزع وفق توزيع ويبول (Weibull).

ويولد أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في موقع واحد سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية للتوهين ببخار الماء وتوزع احتمالاته. وكما يظهر في الشكل 3، تتركب السلسلة الزمنية المنفصلة للتوهين ببخار الماء، $A_{WV}(t) = A_{WV}(kT_s)$ ، حيث T_s هو الوقت المناسب لأخذ العينات، من عملية الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، $n(t) = n(kT_s)$ ، وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط وتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشح تمرير منخفض، وتحوّل من توزيع عادي إلى توزيع ويبول (Weibull) على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 3

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد



P.1853-03

يعرّف مركب السلاسل الزمنية بثلاث معلمات:

k_{WV} : معلمة شكل توزع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)

λ_{WV} : معلمة مقياس توزع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)

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

2.1.3 أسلوب الخطى المتدرجة

يستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيبة السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد، $k = 1, 2, 3, \dots$ ، $A_{WV}(kT_s)$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير k_{WV} و λ_{WV}

تحدد معلمتا k_{WV} و λ_{WV} من التوزيع التراكمي للتوهين ببخار الماء مقابل احتمال حدوثه. ويمكن تحديد إحصاءات التوهين ببخار الماء من البيانات المحلية المقيسة، أو في حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أسلوب التنبؤ بالتوهين ببخار الماء القائم على المحتوى المتكامل لبخار الماء في التوصية ITU-R P.676.

وفي موقع يسترعي الاهتمام، يحتوي التوهين ببخار الماء مقابل احتمال حدوثه وفق توزيع Weibull على النحو التالي:

الخطوة SS_WV_1: أنشئ مجموعة من الأزواج $[P_i, A_{WVi}]$ حيث P_i (نسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين ببخار الماء A_{WVi} (dB) زيادةً. وينبغي للقيم المحددة لـ P_i أن تراعي مجال اهتمام الاحتمالات، على أن المقترح هو المجموعة التالية من النسب المئوية من الوقت 0,1، 0,2، 0,3، 0,5، 1 و 2 و 3 و 5 و 10 و 20 و 30 و 50%.

الخطوة SS_WV_2: حول مجموعة الأزواج $[P_i, A_{WVi}]$ إلى $\left[\ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right), \ln A_{WVi} \right]$.

الخطوة SS_WV_3: حدد المتحولين a و b باحتواء المربعات الصغرى في الدالة الخطية لمجموعة أزواج n :

$$(1) \quad \ln A_{WVi} = a \ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right) + b$$

على النحو التالي:

$$(2) \quad \begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln A_{WVi} \ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right) - \sum_{i=1}^n \ln A_{WVi} \sum_{i=1}^n \ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right)}{n \sum_{i=1}^n \left[\ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right)\right]^2 - \left[\sum_{i=1}^n \ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right)\right]^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(A_{WVi}) - a \sum_{i=1}^n \ln\left(-\ln\frac{P_i}{100}\right)}{n} \end{cases}$$

الخطوة SS_WV_4: احسب المعلمتين k_{WV} و λ_{WV} على النحو التالي:

$$(3) \quad \begin{cases} k_{WV} = \frac{1}{a} \\ \lambda_{WV} = \exp(b) \end{cases}$$

باء معلمة مرشاح التمير المنخفض

الخطوة SS_WV_5: اجعل $\beta_{WV} = 3,65 \times 10^{-6} (s^{-1})$.

جيم تركيب السلاسل الزمنية

تركب السلاسل الزمنية $A_{WV}(kT_s)$ ، $k = 1, 2, 3, \dots$ كما يلي:

الخطوة SS_WV_6: ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة SS_WV_7: اجعل $G_{WV}(0) = 0$.

الخطوة SS_WV_8: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، $n(kT_s)$ ، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرّف كما يلي:

$$(4) \quad G_{WV}(kT_s) = \rho_{WV} \times G_{WV}((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_{WV}^2} \times n(kT_s) \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots$$

حيث:

$$(5) \quad \rho_{WV} = e^{-\beta_{WV} T_s}$$

الخطوة SS_WV_9: احسب $A_{WV}(kT_s)$ من أجل $k = 1, 2, 3, \dots$ كما يلي:

$$(6) \quad A_{WV}(kT_s) = \lambda_{WV} \left(-\log \left[Q(G_{WV}(kT_s)) \right] \right)^{1/k_{WV}}$$

حيث (انظر التوصية ITU-R P.1057):

$$(7) \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

الخطوة SS_WV_10: أهمل أول 5 000 000 عينة من السلاسل الزمنية المركبة.

2.3 تشكيلة المواقع المتعددة

1.2.3 نظرة عامة

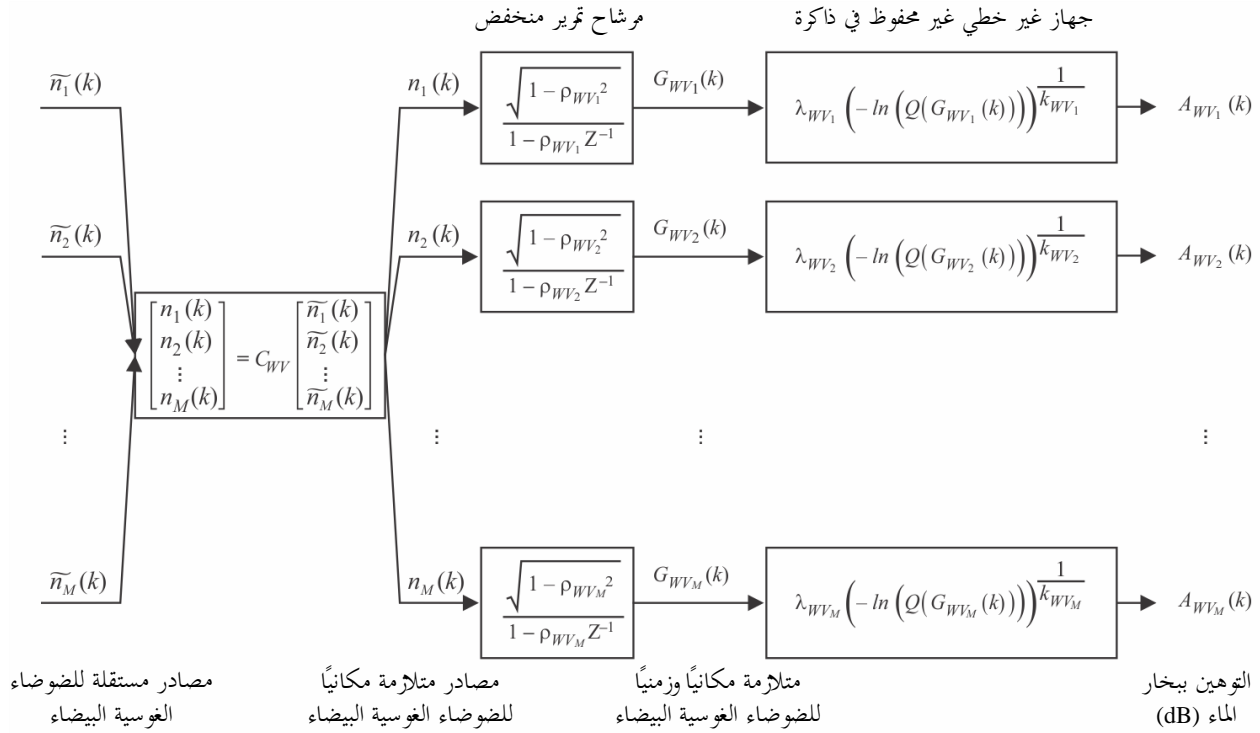
يفترض أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في مواقع متعددة توزيع الإحصاءات طويلة المدى للتوهين ببخار الماء في كل موقع (A_{WVi}) ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ (هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع Weibull.

ويركّب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية سلاسل زمنية متلازمة عددها M تستنسخ التنوع المكاني والخصائص الطيفية والتوزيع الاحتمالي للتوهين ببخار الماء.

وكما يظهر في الشكل 4، تركّب السلسلة الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة، $A_{WVi}(t) = A_{WVi}(kT_s)$ ، حيث T_s هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، $n_i(t) = n_i(kT_s)$ ، وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط. وتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتحوّل من توزيع عادي إلى توزيع ويبول (Weibull) على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 4

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة



P.1853-04

ويعرّف مركب السلاسل الزمنية بالمعلومات التالية في الموقع i :

- k_{WV_i} : معلمة شكل توزيع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)
- λ_{WV_i} : معلمة مقياس توزيع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)
- β_{WV_i} : معلمة تصف الحراك الزمني (s^{-1})
- D_{ij} : المسافة بين الموقع i والموقع j (km)

2.2.3 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتكوين السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة، $A_{WV_i}(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة و $i=1,2,\dots,M$ (حيث M هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير k_{WV_i} و λ_{WV_i}

الخطوة MS_WV_1 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، اتبع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.3 المقطع A بشأن مركب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في الموقع الواحد.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة MS_WV_2 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، اجعل $\beta_{WV_i} = 3,65 \times 10^{-6} (s^{-1})$

جيم تركيب السلاسل الزمنية

الخطوة MS_WV_3: بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة MS_WV_4: احسب مصفوفة $M \times M$ ، $\mathbf{R}_n = [r_{n_{ij}}]$ ، من أجل $i = \{1, 2, \dots, M\}$ و $j = \{1, 2, \dots, M\}$ كما يلي:

$$(8) \quad r_{n_{ij}} = \frac{1 - \rho_{WV_i} \rho_{WV_j}}{\sqrt{1 - \rho_{WV_i}^2} \sqrt{1 - \rho_{WV_j}^2}} r_{G_{WV_{ij}}}$$

حيث $\rho_{WV_j} = e^{-\beta_{WV_j} T_s}$ و $\rho_{WV_i} = e^{-\beta_{WV_i} T_s}$

و

$$(9) \quad r_{G_{WV_{ij}}} = r_{G_{WV}}(D_{ij}) = 0.29 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{38}\right) + 0.71 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{900}\right)$$

الخطوة MS_WV_5: احسب تفكيك Cholesky إلى عوامل¹ المصفوفة \mathbf{R}_n لتحديد المصفوفة المثلثة السفلية $\mathbf{C}_{WV} = [c_{WV_{ij}}]$ ؛ أي:

$$(10) \quad \mathbf{R}_n = \mathbf{C}_{WV} \mathbf{C}_{WV}^T$$

الخطوة MS_WV_6: في كل خطوة زمنية kT_s ، احسب $\mathbf{n}(kT_s) = [n_1(kT_s) \ n_2(kT_s) \ \dots \ n_M(kT_s)]^T$ حيث:

$$(11) \quad \mathbf{n}(kT_s) = \mathbf{C}_{WV} \cdot \tilde{\mathbf{n}}(kT_s)$$

$$\tilde{\mathbf{n}}(kT_s) = [\tilde{n}_1(kT_s) \ \tilde{n}_2(kT_s) \ \dots \ \tilde{n}_M(kT_s)]$$

وكمرجعية:

$$(12) \quad \begin{cases} n_1(kT_s) = \tilde{n}_1(kT_s) \\ n_2(kT_s) = c_{WV_{21}} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{WV_{22}} \tilde{n}_2(kT_s) \\ \vdots \\ n_M(kT_s) = c_{WV_{M1}} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{WV_{M2}} \tilde{n}_2(kT_s) + \dots + c_{WV_{MM}} \tilde{n}_M(kT_s) \end{cases}$$

الخطوة MS_WV_7: بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ وفي كل خطوة زمنية، نفذ الخطوات من SS_WV_7 إلى SS_WV_10 المحددة في الفقرة 2.1.3، المقطع C، بشأن مركب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد.

4 التوهين السحابي

1.4 تشكيلة الموقع الواحد

1.1.4 نظرة عامة

على النحو المقترح في التوصية ITU-R P.840، يمكن تقريب الإحصاءات على المدى الطويل للمحتوى المتكامل من بخار الماء (ILWC) من خلال توزيع لوغاريتمي عادي مكثف باحتمال التوهين السحابي غير الصفري. بما أن العلاقة بين التوهين

¹ توجد في لغات البرمجة Matlab و Octave و Python دوال تفكيك Cholesky إلى عوامل.

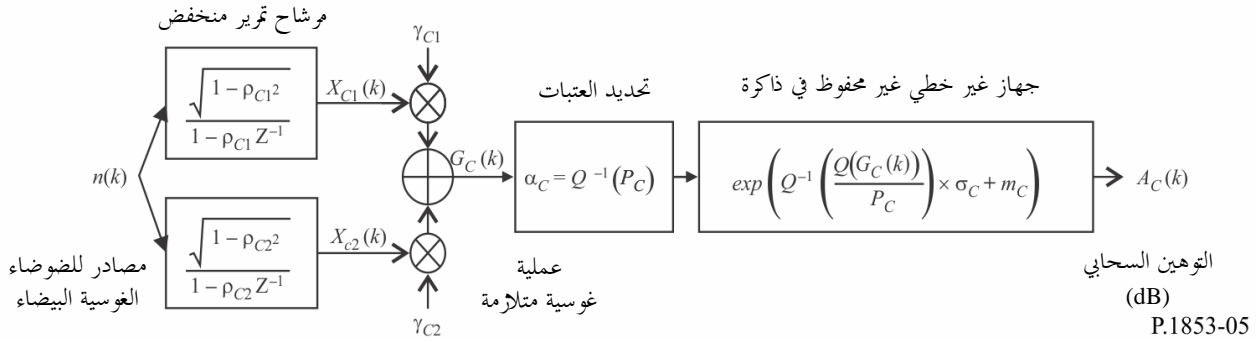
السحابي (Ac) و ILWC علاقة خطية (انظر التوصية ITU-R P.840)، يمكن تقريب إحصاءات التوهين السحابي طويل الأجل (Ac) بالمثل بتوزيع لوغاريتمي عادي مكيف.

وبالتالي، فإن أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في الموقع الواحد يقرب إحصاءات التوهين السحابي طويل الأجل (Ac) بتوزيع لوغاريتمي عادي مكيف.

ويركّب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في موقع واحد سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية للتوهين ببخار الماء وتوزع احتمالاته. وكما يظهر في الشكل 5، تركّب السلسلة الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد، $A_C(t)=A_C(kT_s)$ ، حيث T_s هو وقت أخذ العينات، من عملية الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، $n(t)=n(kT_s)$. وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط فثمر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وثبتت لتتناسب مع الاحتمال المرغوب لتشكيل السحب، وتحوّل من توزيع عادي مبتور إلى توزيع لوغاريتمي مكيف على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 5

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي



يعرّف مركّب السلاسل الزمنية بثمانٍ معاملات:

- m_C : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيف لمتوسط التوهين السحابي
- σ_C : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيف للانحراف المعياري للتوهين السحابي
- P_C : احتمال التوهين السحابي (%)
- α_C : عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي
- β_{C1} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s^{-1})
- β_{C2} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s^{-1})
- γ_{C1} : معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية
- γ_{C2} : معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية.

2.1.4 أسلوب الخطى المتدرجة

يستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي، $k = 1, 2, 3, \dots$ ، حيث $A_C(kT_s)$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير μ_C و σ_C و P_C

يمكن حساب معلمات التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثف لمتوسط، m_C ، التوهين السحابي غير الصفري، P_C ، والانحراف المعياري، σ_C ، من البيانات المحلية. وفي حال عدم توفر البيانات المحلية، يمكن تحديد هذه المعلمات من الخرائط الرقمية لمحتوى الماء السائل المتكامل ابعده خفض حرارته إلى 0 درجة مئوية في التوصية ITU-R P.840.

وفي حال عدم توفر بيانات محلية مقيسة في موقع يسترعي الاهتمام، حدد معلمات اللوغاريتم العادي المكثف كما يلي:

الخطوة SS_CL_1 : حدد المعلمات m_{ILWC1} و m_{ILWC2} و m_{ILWC3} و m_{ILWC4} و σ_{ILWC1} و σ_{ILWC2} و σ_{ILWC3} و σ_{ILWC4} و P_{ILWC1} و P_{ILWC2} و P_{ILWC3} و P_{ILWC4} في النقاط الشبكية الأربعة الأقرب، من الخرائط الرقمية الواردة في التوصية ITU-R P.840.

الخطوة SS_CL_2 : حدد قيمة المعلمات m_{ILWC} و σ_{ILWC} و P_{ILWC} في الموقع المطلوب بإجراء استكمال داخلي ثنائي الخطية للقيم الأربعة لكل معلمة في النقاط الشبكية الأربعة على النحو المبين في التوصية ITU-R P.1144.

الخطوة SS_CL_3 : احسب معامل التوهين النوعي للمياه السائلة السحابية $K_I(f,T)$ من الأسلوب الموضح في التوصية ITU-R P.840 من أجل تردد، f ، يسترعي الاهتمام، و $T=273,15$ K.

الخطوة SS_CL_4 : اجعل

$$(13) \quad \begin{cases} m_C = m_{ILWC} + \ln\left(\frac{K_I}{\sin \phi}\right) \\ \sigma_C = \sigma_{ILWC} \\ P_C = P_{ILWC} \end{cases}$$

حيث ϕ هي زاوية ارتفاع المسير المائل الذي يسترعي الاهتمام.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة SS_CL_5 : اجعل

$$\beta_{C1} = 5,7643 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{C2} = 1,7663 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{C1} = 0,4394$$

$$\gamma_{C2} = 0,7613$$

جيم عتبة البتر

الخطوة SS_CL_6 : عتبة البتر α_C هي:

$$(14) \quad \alpha_C = Q^{-1}\left(\frac{P_C}{100}\right)$$

حيث Q تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركب السلاسل الزمنية $A_C(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ كما يلي:

الخطوة SS_CL_7: ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

الخطوة SS_CL_8: اجعل $X_{C1}(0) = 0$ ؛ $X_{C2}(0) = 0$.

الخطوة SS_CL_9: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، $n(kT_s)$ ، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرّف كما يلي:

$$(15) \quad \begin{cases} X_{C1}(kT_s) = \rho_{C1} \times X_{C1}((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_{C1}^2} \times n(kT_s) \\ X_{C2}(kT_s) = \rho_{C2} \times X_{C2}((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_{C2}^2} \times n(kT_s) \end{cases} \quad \text{for } k = 1, 2, 3,$$

حيث:

$$(16) \quad \begin{cases} \rho_{C1} = e^{-\beta_{C1}T_s} \\ \rho_{C2} = e^{-\beta_{C2}T_s} \end{cases}$$

الخطوة SS_CL_10: احسب $G_C(kT_s)$ من أجل $k = 1, 2, 3$ كما يلي:

$$(17) \quad G_C(kT_s) = \gamma_{C1} \times X_{C1}(kT_s) + \gamma_{C2} \times X_{C2}(kT_s)$$

الخطوة SS_CL_11: احسب $A_C(kT_s)$ (dB) من أجل $k = 1, 2, 3$ كما يلي:

$$(18) \quad A_C(kT_s) = \begin{cases} \exp\left(Q^{-1}\left[\frac{100}{P_C}Q(G_C(kT_s))\right] \times \sigma_C + m_C\right) & \text{for } G_C(kT_s) > \alpha_C \\ 0 & \text{for } G_C(kT_s) \leq \alpha_C \end{cases}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة SS_CL_12: أهمل أول 5 000 000 عينة من السلاسل الزمنية المركبة. وتمثّل أحداث التوهين المطري بتتابعات قيمها أعلى من 0 dB لعدد متعاقب من العينات.

2.4 تشكيلة المواقع المتعددة

1.2.4 نظرة عامة

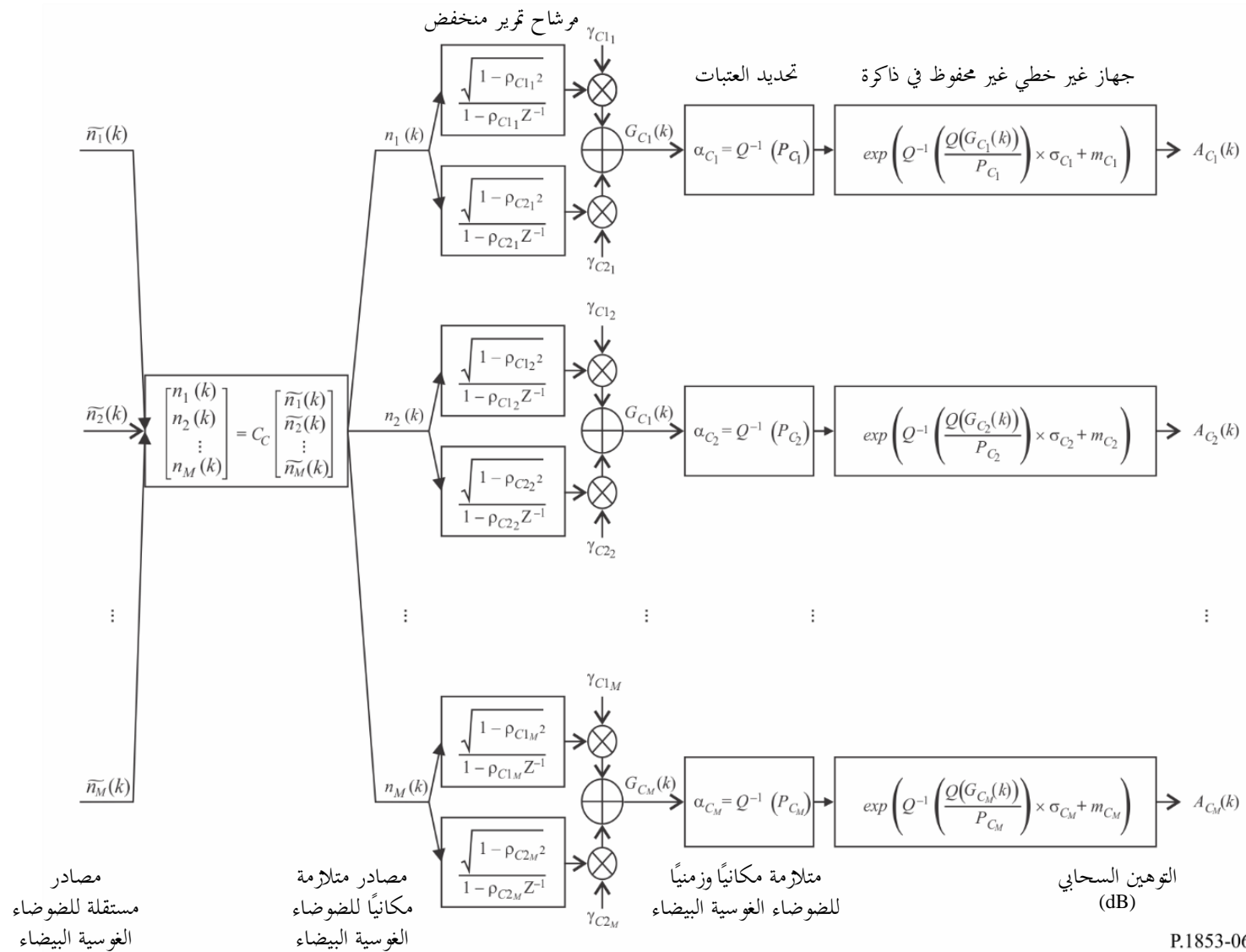
يفترض أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في مواقع متعددة توزع الإحصاءات طويلة المدى للتوهين السحابي في كل موقع (A_{Ci}) ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ (هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع لوغاريتمي عادي مكيف.

ويركب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ التنوع المكاني والخصائص الطيفية والتوزيع الاحتمالي للتوهين السحابي.

وكما يظهر في الشكل 6، تركيب السلسلة الزمنية للتوهين السحابي في مواقع متعددة، $A_{Ci}(t) = A_{Ci}(kT_s)$ ، حيث T_s هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، $n_i(t) = n_i(kT_s)$. وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط. فتمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتبتر لتتناسب مع الاحتمال المرغوب لتشكيل السحب، وتحول من توزيع عادي مبتور إلى توزيع لوغاريتمي مكيف على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 6

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في مواقع متعددة



ويعرّف مرّكب السلاسل الزمنية بالمعلومات التالية في الموقع i :

- m_{Ci} : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثّف لمتوسط التوهين السحابي
 σ_{Ci} : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثّف للانحراف المعياري للتوهين السحابي
 P_{Ci} : احتمال تشكل السحب (%)
 α_{Ci} : عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي
 β_{C1i} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s^{-1})
 β_{C2i} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s^{-1})
 γ_{C1i} : معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية
 γ_{C2i} : معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية
 D_{ij} : المسافة بين الموقع i والموقع j (km)

2.2.4 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في مواقع متعددة $A_{Ci}(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة و $i = 1, 2, \dots, M$ (حيث M هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير m_{Ci} و σ_{Ci} و P_{Ci}

الخطوة MS_CL_1 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، احسب m_{Ci} و σ_{Ci} و P_{Ci} باتباع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.4 المقطع A بشأن مرّكب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في الموقع الواحد.

باء معالم مرشاح التمير المنخفض

الخطوة MS_CL_2 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، اجعل

$$\beta_{C1i} = 5,7643 \times 10^{-4} (s^{-1})$$

$$\beta_{C2i} = 1,7663 \times 10^{-5} (s^{-1})$$

$$\gamma_{C1i} = 0,4394$$

$$\gamma_{C2i} = 0,7613$$

جيم عتبات البتر

الخطوة MS_CL_3 : عتبات البتر α_{Ci} هي:

$$(19) \quad \alpha_{Ci} = Q^{-1} \left(\frac{P_{Ci}}{100} \right)$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

دال تركيب السلاسل الزمنية

الخطوة MS_CL_4 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة MS_CL_5 : احسب مصفوفة $M \times M$ ، $\mathbf{R}_n = [r_{n_{ij}}]$ ، من أجل $i = \{1, 2, \dots, M\}$ و $j = \{1, 2, \dots, M\}$ كما يلي:

$$r_{n_{ij}} = \frac{1}{\gamma_{C_{1j}} \gamma_{C_{1j}} \frac{\sqrt{1-\rho_{C_{1i}}^2} \sqrt{1-\rho_{C_{1j}}^2}}{1-\rho_{C_{1i}} \rho_{C_{1j}}} + \gamma_{C_{2j}} \gamma_{C_{2j}} \frac{\sqrt{1-\rho_{C_{2i}}^2} \sqrt{1-\rho_{C_{2j}}^2}}{1-\rho_{C_{2i}} \rho_{C_{2j}}} + \gamma_{C_{1j}} \gamma_{C_{2j}} \frac{\sqrt{1-\rho_{C_{1i}}^2} \sqrt{1-\rho_{C_{2j}}^2}}{1-\rho_{C_{1i}} \rho_{C_{2j}}} + \gamma_{C_{2j}} \gamma_{C_{1j}} \frac{\sqrt{1-\rho_{C_{2i}}^2} \sqrt{1-\rho_{C_{1j}}^2}}{1-\rho_{C_{2i}} \rho_{C_{1j}}}} r_{G_{C_{ij}}} \quad (20)$$

حيث $\rho_{C_{2j}} = e^{-\beta_{C_{2j}} T_s}$ و $\rho_{C_{1j}} = e^{-\beta_{C_{1j}} T_s}$ و $\rho_{C_{2i}} = e^{-\beta_{C_{2i}} T_s}$ و $\rho_{C_{1i}} = e^{-\beta_{C_{1i}} T_s}$

$$r_{G_{C_{ij}}} = r_{G_C} (D_{ij}) = 0.55 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{24}\right) + 0.45 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{700}\right) \quad (21)$$

الخطوة MS_CL_6 : احسب تفكيك Cholesky إلى عوامل R_n المصفوفة R_n لتحديد المصفوفة المثلثة السفلية $C_C = [C_{C_{ij}}]$ حيث:

$$R_n = C_C C_C^T \quad (22)$$

الخطوة MS_CL_7 : احسب $n(kT_s) = [n_1(kT_s) \ n_2(kT_s) \ \dots \ n_M(kT_s)]^T$ كما يلي:

$$n(kT_s) = C_C \cdot \tilde{n}(kT_s) \quad (23)$$

حيث $\tilde{n}(kT_s) = [\tilde{n}_1(kT_s) \ \tilde{n}_2(kT_s) \ \dots \ \tilde{n}_M(kT_s)]^T$

وكمرجعية:

$$\begin{cases} n_1(kT_s) = \tilde{n}_1(kT_s) \\ n_2(kT_s) = c_{C_{21}} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{C_{22}} \tilde{n}_2(kT_s) \\ \vdots \\ n_M(kT_s) = c_{C_{M1}} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{C_{M2}} \tilde{n}_2(kT_s) + \dots + c_{C_{MM}} \tilde{n}_M(kT_s) \end{cases} \quad (24)$$

الخطوة MS_CL_8 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، نفذ الخطوات من SS_CL_8 إلى SS_CL_12 المحددة في الفقرة 2.1.4، المقطع D، بشأن مركب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في موقع واحد.

5 التوهين المطري

1.5 تشكيلة المواقع المتعددة

1.1.5 نظرة عامة

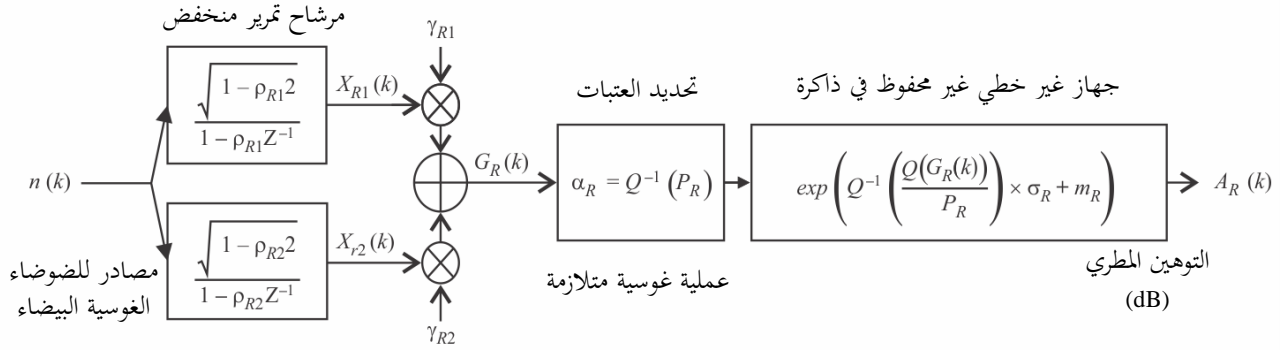
يفترض أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد أن الإحصاءات طويلة الأجل للتوهين المطري هي توزيع لوغاريتمي عادي مكيف لاحتمال التوهين المطري غير الصفري. ويقرب أسلوب قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بالتوهين المطري في التوصية ITU-R P.618 تقريباً جيداً توزيعات التوهين المطري هذه بالتوزيع اللوغاريتمي العادي المكيف عبر المدى الأهم من احتمالات التجاوز. وإذا يتوقع أسلوب التنبؤ بالتوهين المطري في مسيرات الأرض والمسيرات في الاتجاه أرض-فضاء قيمة غير صفرية للتوهين المطري إن فاقت احتمالات التجاوز احتمال التوهين المطري، فإن أسلوب تركيب السلاسل الزمنية يعدل السلاسل الزمنية للتوهين بحيث إن التوهين المطري المقابل لاحتمالات تجاوز أكبر من احتمال التوهين المطري يساوي 0 dB.

ويصلح هذا الأسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و 55 GHz بزوايا ارتفاع تتراوح ما بين 5° و 90°. ويركب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد سلاسل زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية وإحصاءات ميل الخبو ومدته وتوزيع احتمالات أحداث التوهين المطري. كما تُستنسخ إحصاءات المدة ما بين خبو وآخر، ولكن ضمن أحداث التوهين الفردية حصراً.

وكما يظهر في الشكل 7، تُركَّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد، $A_R(t)=A_R(kT_s)$ ، حيث T_s هو وقت أخذ العينات، من عملية منفصلة لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(t)=n(kT_s)$. وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط. فتُمَرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتُثبت لتتناسب مع الاحتمال المرغوب للتوهين المطري، وتحوَّل من توزيع عادي ممتور إلى توزيع لوغاريتمي مكثف على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 7

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري



يعرّف مركب السلاسل الزمنية بثمان معلمات:

- m_R : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثف لمتوسط التوهين المطري
- σ_R : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثف للانحراف المعياري للتوهين المطري
- P_R : احتمال التوهين المطري (%)
- α_R : عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي
- β_{R1} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s^{-1})
- β_{R2} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s^{-1})
- γ_{R1} : معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية
- γ_{R2} : معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية

2.1.5 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالية لتركيبة السلاسل الزمنية للتوهين المطري $A_R(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير m_R و σ_R و P_R

تحدّد معلمتا m_R و σ_R من التوزيع التراكمي للتوهين المطري مقابل احتمال حدوثه. ويمكن تحديد هذه المعلمات من البيانات المحلية. وفي حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أسلوب التنبؤ بالتوهين المطري الوارد في التوصية ITU-R P.618 لتحديد m_R و σ_R . وللحصول على ما يسترعي الاهتمام من زاوية الارتفاع والتردد في الاتجاه أرض-فضاء، يتعين إجراء ملاءمة لوغاريتمية عادية للتوهين المطري مقابل احتمال حدوثه، على النحو التالي:

الخطوة SS_RA_1: حدد احتمال التوهين المطري P_R على المسير (كنسبة مئوية من الوقت) من البيانات المحلية المقيسة، وفي حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أسلوب التنبؤ بالهطول المطري الوارد في التوصية ITU-R P.618 المعنونة "احتمال التوهين المطري على مسير مائل".

الخطوة SS_RA_2: أنشئ مجموعة من الأزواج $(P_i/P_R, A_{Ri})$ حيث P_i (نسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين المطري A_{Ri} (dB) زيادةً، حيث $P_i \leq P_R$. وينبغي للقيم المحددة لـ P_i أن تراعي مجال اهتمام الاحتمالات، على أن المقترح هو المجموعة التالية من النسب المئوية من الوقت 0,01 و 0,02 و 0,03 و 0,05 و 0,1 و 0,2 و 0,3 و 0,5 و 1 و 2 و 3 و 5 و 10%، بشرط $P_i \leq P_R$.

الخطوة SS_RA_3: حول مجموعة الأزواج $[P_i/P_R, A_{Ri}]$ إلى $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_R}\right), \ln A_{Ri} \right]$ ، حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة SS_RA_4: حدد المتحولين m_R و σ_R بإجراء ملاءمة أقل عدد من المربعات مع $\ln A_{Ri} = \sigma_R Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_R}\right) + m_R$ لجميع قيم i . ويمكن تحديد ملاءمة أقل عدد من المربعات باستخدام "إجراء الخطى التدريجية لتقريب التوزيع التراكمي المتمم بتوزيع لوغاريتمي عادي تراكمي متمم" الذي يأتي وصفه في التوصية ITU-R P.1057.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

الخطوة SS_RA_5: اجعل:

$$\beta_{R1} = 9,0186 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{R2} = 5,0990 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{R1} = 0,3746$$

$$\gamma_{R2} = 0,7738$$

جيم عتبة البتر

الخطوة SS_RA_6: عتبة البتر α_R هي:

$$(25) \quad \alpha_R = Q^{-1}\left(\frac{P_R}{100}\right)$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري $(A_R(kT_s), k = 1, 2, 3, \dots)$ كما يلي:

الخطوة SS_RA_7: ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة SS_RA_8: اجعل $X_{R1}(0) = 0$ ؛ $X_{R2}(0) = 0$.

الخطوة SS_RA_9: مر السلاسل الزمنية للضوضاء، $n(kT_s)$ ، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرّف كما يلي:

$$(26) \quad \begin{cases} X_{R1}(kT_s) = \rho_{R1} \times X_{R1}((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_{R1}^2} \times n(kT_s) \\ X_{R2}(kT_s) = \rho_{R2} \times X_{R2}((k-1)T_s) + \sqrt{1-\rho_{R2}^2} \times n(kT_s) \end{cases} \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots$$

$$(27) \quad \begin{cases} \rho_{R1} = e^{-\beta_{R1}T_s} \\ \rho_{R2} = e^{-\beta_{R2}T_s} \end{cases} \quad \text{حيث:}$$

الخطوة SS_RA_10: احسب $G_R(kT_s)$ ، من أجل $k = 1, 2, 3, \dots$ كما يلي:

$$(28) \quad G_R(kT_s) = \gamma_{R1} \times X_{R1}(kT_s) + \gamma_{R2} \times X_{R2}(kT_s)$$

الخطوة SS_CL_11: احسب $A_R(kT_s)$ (dB)، من أجل $k = 1, 2, 3, \dots$ كما يلي:

$$(29) \quad A_R(kT_s) = \begin{cases} \exp\left(Q^{-1}\left[\frac{100}{P_R}Q(G_R(kT_s))\right]\right) \times \sigma_R + m_R & \text{for } G_R(kT_s) > \alpha_R \\ 0 & \text{for } G_R(kT_s) \leq \alpha_R \end{cases}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة SS_CL_12: أهمل أول 5 000 000 عينة من السلاسل الزمنية المركبة. وتمثل أحداث التوهين المطري بتتابعات قيمها أعلى من 0 dB لعدد متعاقب من العينات.

2.5 تشكيلة المواقع المتعددة

1.2.5 نظرة عامة

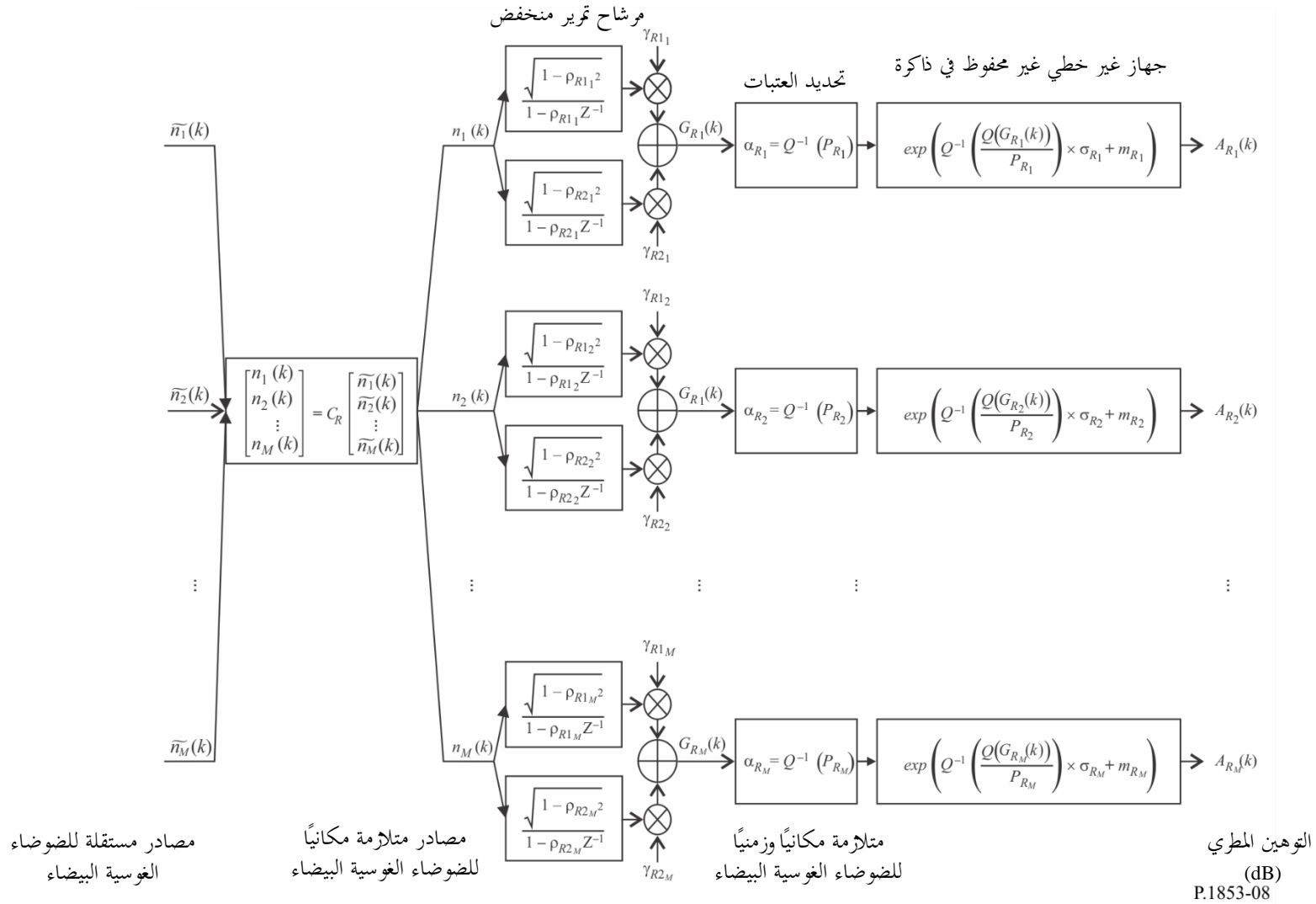
يفترض أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في مواقع متعددة توزيع الإحصاءات طويلة المدى للتوهين المطري في كل موقع (A_{Ri}) ، حيث $i = \{1, 2, \dots, M\}$ (هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع لوغاريتمي عادي مكيف.

ويركّب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة سلسلة زمنية تستنسخ التنوع المكاني والخصائص الطيفية والتوزيع الاحتمالي للتوهين المطري.

وكما يظهر في الشكل 8، ترّكّب السلسلة الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة، $A_{Ri}(t) = A_{Ri}(kT_s)$ ، حيث T_s هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، $n_i(t) = n_i(kT_s)$. وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kT_s بالرمز k فقط. فتُمَرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وثبّت لتتناسب مع الاحتمال المرغوب لتشكيل السحب، وتحوّل من توزيع عادي ممتور إلى توزيع لوغاريتمي مكيف على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 8

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة



ويعرّف مرّكب السلاسل الزمنية بالمعلمات التالية في الموقع i :

- m_{Ri} : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثّف لمتوسط التوهين المطري
 σ_{Ri} : التوزيع اللوغاريتمي العادي المكثّف للانحراف المعياري للتوهين المطري
 P_{Ri} : احتمال التوهين المطري (%)
 α_{Ri} : عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي
 β_{R1i} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s^{-1})
 β_{R2i} : معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s^{-1})
 γ_{R1i} : معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية
 γ_{R2i} : معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية.
 D_{ij} : المسافة بين الموقع i والموقع j (km)

2.2.5 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة $A_{Ci}(kT_s)$, $k = 1, 2, 3, \dots$ حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة و $i = \{1, 2, \dots, M\}$ (حيث M هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير m_{Ri} و σ_{Ri} و P_{Ri}

الخطوة MS_RA_1 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، اتبع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.5 المقطع A بشأن مُركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد.

باء معلمات مرشاح التمير المنخفض

الخطوة MS_RA_2 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، اجعل

$$\beta_{R1i} = 9,0186 \times 10^{-4} (s^{-1})$$

$$\beta_{R2i} = 5,0990 \times 10^{-5} (s^{-1})$$

$$\gamma_{R1i} = 0,3746$$

$$\gamma_{R2i} = 0,7738$$

جيم عتبات البتر

الخطوة MS_RA_3 : عتبات البتر α_{Ri} هي:

$$(30) \quad \alpha_{Ri} = Q^{-1} \left(\frac{P_{Ri}}{100} \right)$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

دال تركيب السلاسل الزمنية

الخطوة MS_RA_4 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة MS_RA_5 : احسب المصفوفة $R_n = [r_{n_{ij}}]$ ، من أجل $i = \{1, 2, \dots, M\}$ و $j = \{1, 2, \dots, M\}$ كما يلي:

$$r_{n_{ij}} = \frac{1}{\gamma_{R1_i} \gamma_{R1_j} \frac{\sqrt{1-\rho_{R1_i}^2} \sqrt{1-\rho_{R1_j}^2}}{1-\rho_{R1_i} \rho_{R1_j}} + \gamma_{R2_i} \gamma_{R2_j} \frac{\sqrt{1-\rho_{R2_i}^2} \sqrt{1-\rho_{R2_j}^2}}{1-\rho_{R2_i} \rho_{R2_j}} + \gamma_{R1_i} \gamma_{R2_j} \frac{\sqrt{1-\rho_{R1_i}^2} \sqrt{1-\rho_{R2_j}^2}}{1-\rho_{R1_i} \rho_{R2_j}} + \gamma_{R2_i} \gamma_{R1_j} \frac{\sqrt{1-\rho_{R2_i}^2} \sqrt{1-\rho_{R1_j}^2}}{1-\rho_{R2_i} \rho_{R1_j}}} r_{G_{Rij}} \quad (31)$$

حيث $\rho_{R2_j} = e^{-\beta_{R2_j} T_s}$ و $\rho_{R1_j} = e^{-\beta_{R1_j} T_s}$ و $\rho_{R2_i} = e^{-\beta_{R2_i} T_s}$ و $\rho_{R1_i} = e^{-\beta_{R1_i} T_s}$

$$r_{G_{Rij}} = r_{G_R}(D_{ij}) = 0.59 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{31}\right) + 0.41 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{800}\right) \text{ و}$$

الخطوة MS_RA_6 : استخدم تفكيك Cholesky إلى عوامل R_n المصفوفة المثلاثة السفلية $C_R = [C_{R_{ij}}]$ حيث:

$$R_n = C_R C_R^T \quad (32)$$

الخطوة MS_RA_7 : احسب $n(kT_s) = [n_1(kT_s) \ n_2(kT_s) \ \dots \ n_M(kT_s)]^T$ كما يلي:

$$n(kT_s) = C_R \cdot \tilde{n}(kT_s) \quad (33)$$

$$\tilde{n}(kT_s) = [\tilde{n}_1(kT_s) \ \tilde{n}_2(kT_s) \ \dots \ \tilde{n}_M(kT_s)]^T \text{ حيث}$$

وكمرجعية:

$$\begin{cases} n_1(kT_s) = \tilde{n}_1(kT_s) \\ n_2(kT_s) = c_{R21} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{R22} \tilde{n}_2(kT_s) \\ \vdots \\ n_M(kT_s) = c_{RM1} \tilde{n}_1(kT_s) + c_{RM2} \tilde{n}_2(kT_s) + \dots + c_{RMM} \tilde{n}_M(kT_s) \end{cases} \quad (34)$$

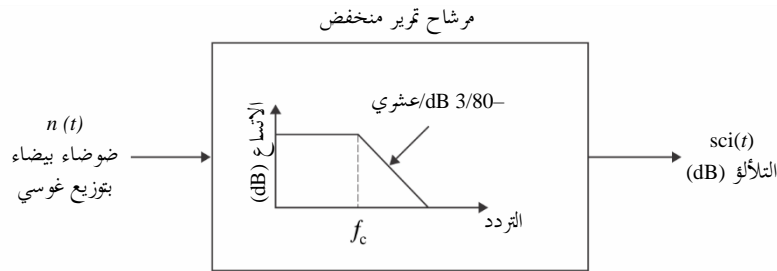
الخطوة MS_RA_8 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ نفذ الخطوات من SS_RA_8 إلى SS_RA_12 المحددة في الفقرة 2.1.5، بشأن مركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في موقع واحد.

6 التلاؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة

كما يظهر في الشكل 9، يمكن توليد السلاسل الزمنية للتلاؤ، $sci(t)$ ، بتمرير الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي، $n(t)$ ، عبر مرشح 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 للتلاؤ يتزايد مع تزايد توهين المطر.

الشكل 9

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية للتلاؤ لتغاير الوحدة



الملحق 2

تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيرية في الموقع الواحد
والمواقع المتعددة على مسيرات أرض-فضاء

1 مقدمة

تقدم المنهجية المعروضة في هذا الملحق تقنية لتركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتأثر الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد والمواقع المتعددة، وهي سارية على مسيرات أرض-فضاء.

2 تشكيلة الموقع الواحد

1.2 نظرة عامة

تركّب السلاسل الزمنية الناتجة عن الجمع بين التوهين الغازي والتوهين السحابي والتوهين المطري وخبو التأثر وتحسينها في موقع واحد باستخدام الأسلوب الموضح في الشكل 10 وباستخدام الأساليب الموضحة في الملحق 1. وقد أُدخل تلازم مناسب بين التوهين السحابي والتوهين المطري باستخدام نفس التلازم الزمني والعملية الغوسية الكامنة. وقد فُضّل التلازم الزمني للتوهين المطري لأن التوهين المطري هو الترددي السائد.

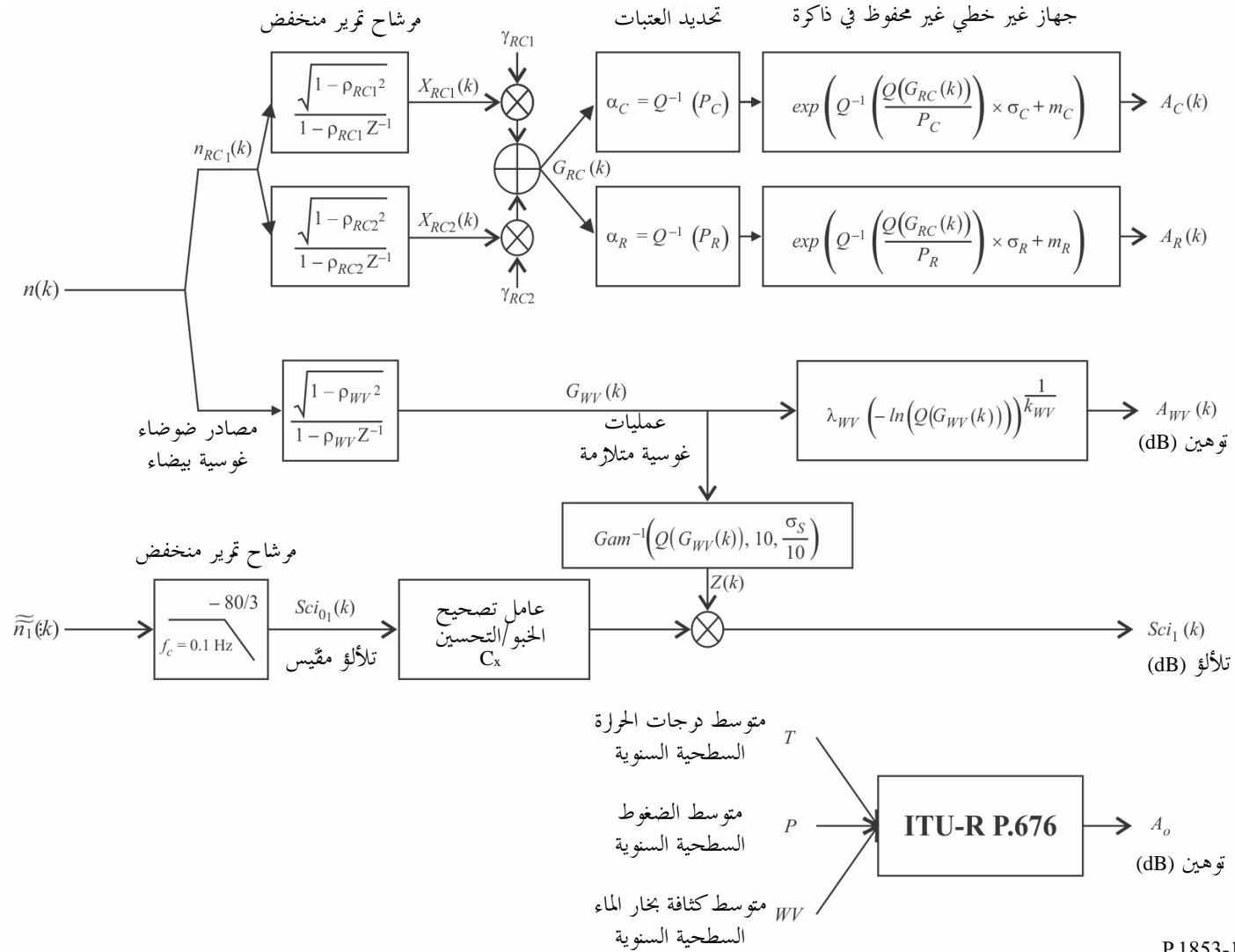
ويُستكمل التوهين السحابي داخلياً في حال: أ) تركيب حدث مطري بقيمة توهين أكبر من 0 dB، وب) تجاوز التوهين السحابي عتبة $A_{C_{thresh}} = \frac{K_I}{\sin \varphi}$ حيث φ هي زاوية الارتفاع ومعلمة K_I تعطى بالخطوة SS_CL_3 في الملحق 1.

وفي المسيرات في الاتجاه أرض-فضاء، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و 55 GHz وفي زوايا ارتفاع تتراوح بين 5° و 90°. وفي الترددات المنخفضة، وزوايا الارتفاع المعتدلة إلى العالية، والمناطق ذات المناخ المعتدل، يمكن تقريب إجمالي التوهين بالتوهين المطري بما يكفي من الدقة.

ويركّب أسلوب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية وإحصاءات ميل الخبو ومدته لأحداث التوهين المطري. كما تُستنسخ إحصاءات المدة ما بين خبو وآخر، ولكن ضمن أحداث التوهين الفردية حصراً.

الشكل 10

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية لإجمالي للتوهين والتألق في موقع واحد



2.2 أسلوب الخطى المتدرجة

يركّز أسلوب الخطى المتدرجة التالي السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتألؤ الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد $A_{TOT}(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة.

الخطوة SS_TOT_1 : ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $n(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (1 s).

الخطوة SS_TOT_2 : احسب السلاسل الزمنية لمتوسط التوهين الغازي السنوي بالأوكسجين AO باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.2 من الملحق 1.

الخطوة SS_TOT_3 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء $A_{WV}(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $n(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 3.1.2 من الملحق 1.

الخطوة SS_TOT_4 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي $A_C(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $n(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.1.4 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة SS_CL_5 بما يلي:

اجعل:

$$\beta_{C1} = \beta_{R1} = \beta_{RC1} = 9,0186 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{C2} = \beta_{R2} = \beta_{RC2} = 5,0990 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{C1} = \gamma_{R1} = \gamma_{RC1} = 0,3746$$

$$\gamma_{C2} = \gamma_{R2} = \gamma_{RC2} = 0,7738$$

الخطوة SS_TOT_5 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين المطري $A_R(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $n(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.1.5 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة SS_CL_5 بما يلي:

اجعل:

$$\beta_{R1} = \beta_{RC1} = 9,0186 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{R2} = \beta_{RC2} = 5,0990 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{R1} = \gamma_{RC1} = 0,3746$$

$$\gamma_{R2} = \gamma_{RC2} = 0,7738$$

الخطوة SS_TOT_6 : في كل خطوة زمنية kT_s : في حال $A_R(kT_s) > 0$ و $A_{C_{thresh}} = \frac{K_I}{\sin \varphi}$ عندئذ

$$A_C(kT_s) = \frac{K_I}{\sin \varphi} \text{ اجعل}$$

الخطوة SS_TOT_7 : عرف كثيرات حدود خبو وتحسين التألؤ كما يلي:

$$a_{Fade}(P) = -0.061 \times (\log_{10}(P))^3 + 0.072 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.71 \times \log_{10}(P) + 3.0$$

$$a_{Enhance}(P) = -0.0597 \times (\log_{10}(P))^3 - 0.0835 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.258 \times \log_{10}(P) + 2.672$$

الخطوة SS_TOT_8 : ركّب السلاسل الزمنية للتألؤ في وحدة التغاير $Scio(kT_s)$ باتباع الأسلوب الموصى به في الفقرة 6 من الملحق 1.

الخطوة SS_TOT_9 : احسب السلاسل الزمنية لمعامل التصحيح $C_x(kT_s)$ للتمييز بين حالات خبو التألؤ وحالات تحسينه:

$$(35) \quad C_x(kT_s) = \begin{cases} \frac{a_{Fade}(100 \times Q[Sci_0(kT_s)])}{a_{Enhance}(100 \times Q[Sci_0(kT_s)])} & \text{for } Sci_0(kT_s) > 0 \\ 1 & \text{for } Sci_0(kT_s) \leq 0 \end{cases}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة SS_TOT_10 : في حال $C_x(kT_s) < 1$ أو $100 \times Q[Sci_0(kT_s)] > 45$ عندئذ اجعل $C_x(kT_s) = 1$

الخطوة SS_TOT_11 : احسب الانحراف المعياري للتأثير ss وفقاً لأسلوب "حساب الإحصاءات الشهرية والطويلة الأجل لتأثير الاتساع عند زوايا ارتفاع أكبر من 5 درجات" في التوصية ITU-R P.618 (علماً بأن σ_s يدعى σ في التوصية ITU-R P.618).

الخطوة SS_TOT_12 : حول السلاسل الزمنية للعملية الغوسية الكامنة الوسيطة $G_{WV}(kT_s)$ من الخطوة SS_TOT_3 إلى السلاسل الزمنية بتوزيع غاما $Z(kT_s)$ كما يلي:

$$(36) \quad Z(kT_s) = Gam^{-1} \left[Q(G_{WV}(kT_s)), 10, \frac{\sigma_s}{10} \right]$$

حيث الدالة Gam هي دالة توزيع غاما المتمم كما يرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057 والمعروفة كما يلي:

$$(37) \quad Gam(x, k, \theta) = \int_x^{\infty} \frac{x^{k-1} \exp(-x/\theta)}{\Gamma(k)\theta^k} dt$$

$$\text{علماً بأن } Q(G_{WV}(kT_s)) = \exp \left[- \left(\frac{A_{WV}(kT_s)}{\lambda_{WV}} \right)^{k_{WV}} \right]$$

الخطوة SS_TOT_13 : احسب السلاسل الزمنية للتأثير $Sci(kT_s)$ كما يلي:

$$(38) \quad Sci(kT_s) = \begin{cases} Sci_0(kT_s) \times C_x(kT_s) \times Z(kT_s) \times [A_R(kT_s)]^{5/12} & \text{for } A_R(kT_s) > 1 \\ Sci_0(kT_s) \times C_x(kT_s) \times Z(kT_s) & \text{for } A_R(kT_s) \leq 1 \end{cases}$$

الخطوة SS_TOT_14 : احسب السلاسل الزمنية لعوامل التوهين التروبوسفيرية الكلية $A_{TOT}(kT_s)$ كما يلي:

$$(39) \quad A_{TOT}(kT_s) = A_R(kT_s) + A_C(kT_s) + A_V(kT_s) + A_O + Sci(kT_s)$$

3 تشكيلة المواقع المتعددة

1.3 نظرة عامة

تركّب السلسلة الزمنية لجمل التوهين وخبو وتحسين التأثر في مواقع متعددة باستخدام الأسلوب الموضح في الشكل 11 وباستخدام الأساليب الموضحة في الأقسام السابقة. وقد أُدخل تلازم مناسب بين التوهين السحابي والتوهين المطري باستخدام نفس التلازم الزمني والعملية الغوسية الكامنة. وقد فُضّل التلازم الزمني للتوهين المطري لأن التوهين المطري هو الترددي السائد. وللسبب نفسه، فُضّل التلازم المكاني للتوهين المطري.

² توجد في لغات البرمجة Matlab و Octave و Python دوال توزيع غاما ومقلوب غاما.

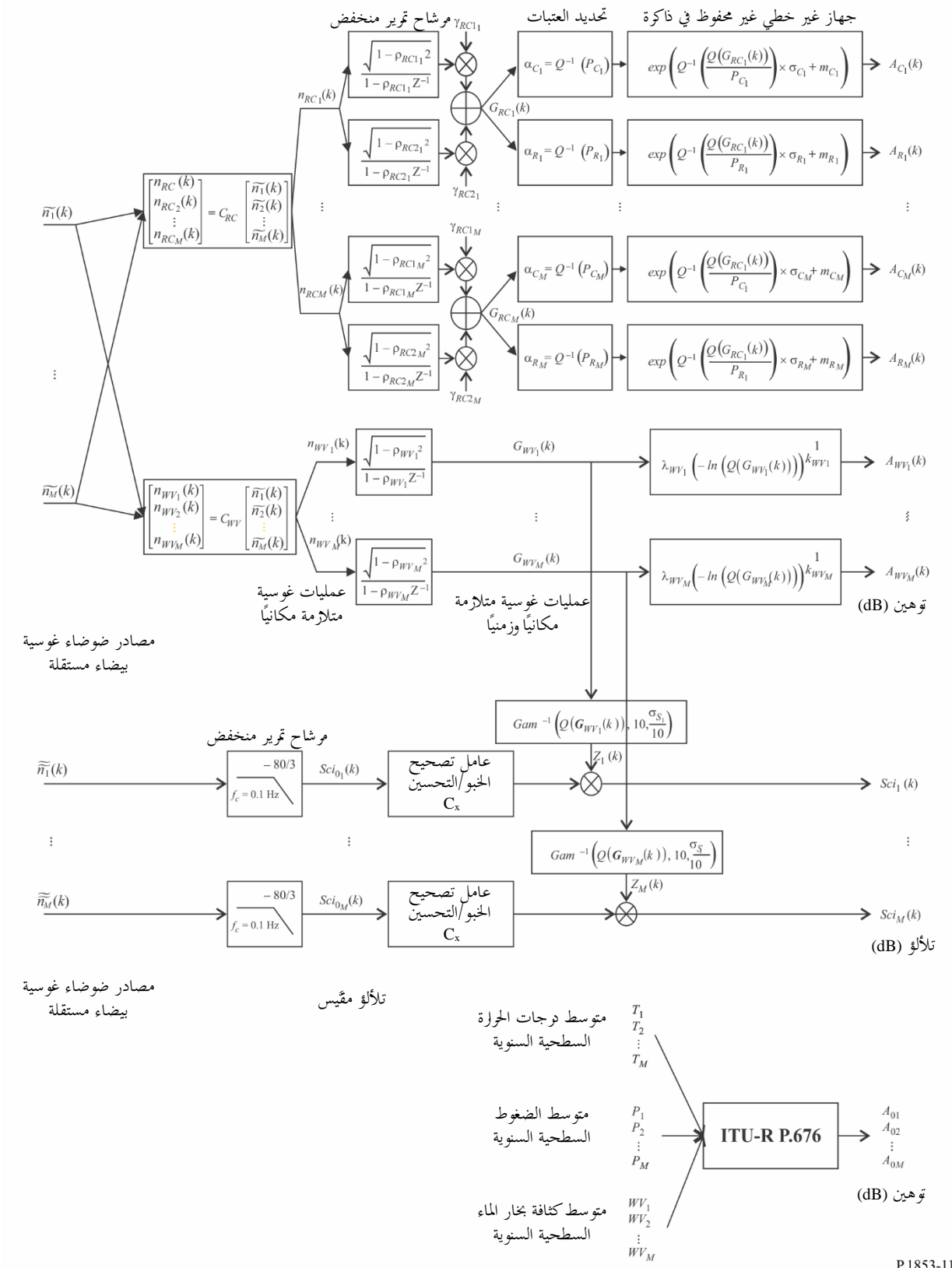
ويُستكمل التوهين السحابي داخلياً في حال: أ) وقوع حدث مطري (بقيمة توهين مطري مركب أكبر من 0 dB)، وب) تجاوز التوهين السحابي عتبة $A_{C_{thresh}} = \frac{K_l}{\sin \varphi}$ حيث φ هي زاوية الارتفاع ومعلمة K_l تعطى بالخطوة SS_CL_3 في الملحق 1.

وفي المسيرات في الاتجاه أرض-فضاء، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و 55 GHz وفي زوايا ارتفاع تتراوح بين 5° و 90°. وفي بعض الظروف (من قبيل الترددات المنخفضة، وزوايا الارتفاع المعتدلة إلى العالية، والمناطق ذات المناخ المعتدل)، يمكن تقريب إجمالي التوهين بالتوهين المطري بما يكفي من الدقة.

ويولد أسلوب السلاسل الزمنية سلسلة زمنية تستنسخ التغيرات المكاني والخصائص الطيفية وإحصاءات ميل الخبو ومدته لمجمل أحداث التوهين. كما تُستنسخ إحصاءات المدة ما بين خبو وآخر، ولكن ضمن أحداث التوهين الفردية حصراً.

الشكل 11

المخطط الوظيفي لمركب السلاسل الزمنية لإجمالي للتوهين والتألول في مواقع متعددة



2.3 أسلوب الخطى المتدرجة

يستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيبة السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتأثر الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد والمواقع المتعددة، $A_{TOTi}(kT_s)$ ، $k = 1, 2, 3, \dots$ ، حيث T_s هو الفاصل الزمني بين العينات، و k هو مؤشر كل عينة، و $M = 1, 2, \dots, M$ (حيث M هو العدد الإجمالي للمواقع).

الخطوة MS_TOT_1 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، ركب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، حيث $k = 1, 2, 3, \dots$ بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، T_s ، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

الخطوة MS_TOT_2 : احسب السلاسل الزمنية لمتوسط التوهين الغازي السنوي بالأوكسجين A_{O_i} باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.3 من الملحق 1.

الخطوة MS_TOT_3 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء $A_{WV_i}(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 3.2 من الملحق 1.

الخطوة MS_TOT_4 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي $A_{C_i}(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي، $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.4 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة MS_CL_2 بما يلي:

اجعل:

$$\beta_{C1i} = \beta_{R1i} = \beta_{RC1i} = 9,0186 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{C2i} = \beta_{R2i} = \beta_{RC2i} = 5,0990 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{C1i} = \gamma_{R1i} = \gamma_{RC1i} = 0,3746$$

$$\gamma_{C2i} = \gamma_{R2i} = \gamma_{RC2i} = 0,7738$$

واستعض عن الحساب $r_{G_{C_{ij}}}$ في الخطوة MS_CL_5 بما يلي:

$$r_{G_{C_{ij}}} = r_{G_{R_{ij}}} = r_{G_{RC_{ij}}} = 0.59 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{31}\right) + 0.41 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{800}\right) \quad (40)$$

الخطوة MS_TOT_5 : احسب السلاسل الزمنية للتوهين المطري $A_{R_i}(kT_s)$ بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي $\tilde{n}_i(kT_s)$ ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 5.2.2 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة MS_RA_2 بما يلي:

اجعل:

$$\beta_{R1i} = \beta_{RC1i} = 9,0186 \times 10^{-4} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\beta_{R2i} = \beta_{RC2i} = 5,0990 \times 10^{-5} \text{ (s}^{-1}\text{)}$$

$$\gamma_{C1i} = \gamma_{R1i} = \gamma_{RC1i} = 0,3746$$

$$\gamma_{C2i} = \gamma_{R2i} = \gamma_{RC2i} = 0,7738$$

واستعض عن الحساب $r_{G_{C_{ij}}}$ في الخطوة MS_RA_5 بما يلي:

$$r_{G_{R_{ij}}} = r_{G_{RC_{ij}}} = 0.59 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{31}\right) + 0.41 \cdot \exp\left(-\frac{D_{ij}}{800}\right) \quad (41)$$

الخطوة MS_TOT_6 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، وكل خاتم زمني $k_i T_s$ ، في حال $A_{R_i}(kT_s) > 0$

$$A_{C_i}(kT_s) = \frac{K_i}{\sin \phi_i} \text{ اجعل } A_{C_i}(kT_s) > A_{C_{i\text{thresh}}} = \frac{K_i}{\sin \phi_i} \text{ و}$$

الخطوة MS_TOT_7 : عرف كثيرات حدود خبو وتحسين التأثر كما يلي:

$$a_{Fade}(P) = -0.061 \times (\log_{10}(P))^3 + 0.072 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.71 \times \log_{10}(P) + 3.0$$

$$a_{Enhance}(P) = -0.0597 \times (\log_{10}(P))^3 - 0.0835 \times (\log_{10}(P))^2 - 1.258 \times \log_{10}(P) + 2.672$$

الخطوة MS_TOT_8 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، ركب السلاسل الزمنية للتألق في وحدة التغير، $Sci_{0i}(kT_s)$ ، باتباع الأسلوب الموصى به في الفقرة 6 من الملحق 1.

الخطوة MS_TOT_9 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، احسب السلاسل الزمنية لمعامل التصحيح $C_x(kT_s)$ للتمييز بين حالات خبو التألق وحالات تحسينه:

$$(42) \quad C_{x_i}(kT_s) = \begin{cases} \frac{a_{Fade}(100 \times Q[Sci_{0_i}(kT_s)])}{a_{Enhance}(100 \times Q[Sci_{0_i}(kT_s)])} & \text{for } Sci_{0_i}(kT_s) > 0 \\ 1 & \text{for } Sci_{0_i}(kT_s) \leq 0 \end{cases}$$

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 من الملحق 1 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة MS_TOT_10 : في حال $C_{x_i}(kT_s) < 1$ أو $100 \times Q[Sci_{0_i}(kT_s)] > 45$ عندئذ $C_{x_i}(kT_s) = 1$

الخطوة MS_TOT_11 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، احسب الانحراف المعياري للتألق s_s وفقاً لأسلوب "حساب الإحصاءات الشهرية والطويلة الأجل لتألق الاتساع عند زوايا ارتفاع أكبر من 5 درجات" في التوصية ITU-R P.618.

الخطوة MS_TOT_12 : حوّل السلاسل الزمنية للعملية الغوسية الكامنة الوسيطة $G_{WV_i}(kT_s)$ من الخطوة MS_TOT_3 إلى السلاسل الزمنية بتوزيع غاما $Z_i(kT_s)$ كما يلي:

$$(44) \quad Z_i(kT_s) = Gam^{-1} \left[Q(G_{WV_i}(kT_s)), 10, \frac{\sigma_{S_i}}{10} \right]$$

حيث الدالة Gam هي دالة توزيع غاما المتمم كما يرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057 والمعرفة كما يلي:

$$(45) \quad Gam(x, k, \theta) = \int_x^{\infty} \frac{x^{k-1} \exp(-x/\theta)}{\Gamma(k)\theta^k} dt$$

$$\cdot Q(G_{WV_i}(kT_s)) = \exp \left(- \left(\frac{A_{WV_i}(kT_s)}{\lambda_{WV_i}} \right)^{k_{WV_i}} \right) \quad \text{علماً بأن}$$

الخطوة MS_TOT_13 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، احسب السلاسل الزمنية للتألق $Sci_i(kT_s)$ كما يلي:

$$(46) \quad Sci_i(kT_s) = \begin{cases} Sci_{0_i}(kT_s) \times C_{x_i}(kT_s) \times Z_i(kT_s) \times [A_{R_i}(kT_s)]^{5/12} & \text{for } A_{R_i}(kT_s) > 1 \\ Sci_{0_i}(kT_s) \times C_{x_i}(kT_s) \times Z_i(kT_s) & \text{for } A_{R_i}(kT_s) \leq 1 \end{cases}$$

الخطوة MS_TOT_14 : بالنسبة لكل رقم موقع $i = \{1, 2, \dots, M\}$ ، احسب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل الترددي التروبوسفيرية $A_{TOT_i}(kT_s)$ كما يلي:

$$(47) \quad A_{TOT_i}(kT_s) = A_{R_i}(kT_s) + A_{C_i}(kT_s) + A_{V_i}(kT_s) + A_{O_i} + Sci_i(kT_s)$$

الملحق 3

تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري على مسيرات أرضية أحادية

ينبغي استخدام الأسلوب التالي لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري على مسيرات أرضية أحادية. ويمكن استخدام أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في موقع واحد على مسيرات أرض-فضاء الموصوف في الفقرة 5 من الملحق 1 لمسير أرضي واحد مع التغييرات التالية.

على غرار مسيرات أرض-فضاء:

- يفترض أيضاً أن إحصاءات المدى الطويل للتوهين المطري لها توزيع لوغاريتمي عادي مكيف.
- يقرب أسلوب قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بالتوهين المطري في التوصية ITU-R P.530 هذا التوهين تقريباً جيداً بالتوزيع اللوغاريتمي العادي المكيف عبر المدى الأهم من احتمالات التجاوز.
- وإذا يتوقع أسلوب التنبؤ بالتوهين المطري في مسيرات الأرض قيمة غير صفرية للتوهين المطري إن فاقت احتمالات التجاوز احتمال التوهين المطري، فإن أسلوب تركيب السلاسل الزمنية يعدل السلاسل الزمنية للتوهين بحيث إن التوهين المطري المقابل لاحتمالات تجاوز أكبر من احتمال التوهين المطري يساوي 0 dB.
- وفي مسيرات الأرض، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين 4 GHz و 40 GHz بأطوال مسير تتراوح ما بين 2 km و 60 km.

ولتركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري على مسيرات أرضية في موقع واحد، اتبع جميع الخطوات المذكورة في الفقرة 2.1.5، ولكن استعض عن المقطع A هناك بالمقطع A التالي:

ألف تقدير m_R و σ_R و P_R

تحدد معلمتا m_R و σ_R من التوزيع التراكمي للتوهين المطري مقابل احتمال حدوثه. ويمكن تحديد إحصاءات التوهين المطري من البيانات المحلية، أو في حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أساليب التنبؤ بالتوهين المطري الواردة في التوصية ITU-R P.530. وللحصول على المسير والتردد المرغوبين، يتعين إجراء ملاءمة لوغاريتمية عادية للتوهين المطري مقابل احتمال حدوثه، على النحو التالي: الخطوة SS_RA_1 : حدد احتمال التوهين المطري P_R على المسير (كنسبة مئوية من الوقت) من البيانات المحلية المقيسة، أو في حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أسلوب التنبؤ بالطول المطري، $P_{0,annual}$ ، الوارد في التوصية ITU-R P.837.

الخطوة SS_RA_2 : أنشئ مجموعة من الأزواج $[P_i/P_R, A_{Ri}]$ حيث P_i (نسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين المطري A_{Ri} (dB) زيادةً، حيث $P_i \leq P_R$. وينبغي للقيم المحددة لـ P_i أن تراعي مجال اهتمام الاحتمالات، على أن المقترح هو المجموعة التالية من النسب المئوية من الوقت 0,01 و 0,02 و 0,03 و 0,05 و 0,1 و 0,2 و 0,3 و 0,5 و 1 و 2 و 3 و 5 و 10%، بشرط $P_i \leq P_R$.

الخطوة SS_RA_3 : حول مجموعة الأزواج $[P_i/P_R, A_{Ri}]$ إلى $\left[Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_R}\right), \ln A_{Ri} \right]$ ،

حيث يرد تعريف الدالة Q في الفقرة 2.1.3 ويرد توصيفها في التوصية ITU-R P.1057.

الخطوة SS_RA_4 : حدد المتحولين m_R و σ_R بإجراء ملاءمة أقل عدد من المربعات مع m_R $\ln A_{Ri} = \sigma_R Q^{-1}\left(\frac{P_i}{P_R}\right) + m_R$ لجميع قيم i . ويمكن تحديد ملاءمة أقل عدد من المربعات باستخدام "إجراء الخطى التدرجية لتقريب التوزيع التراكمي المتمم بتوزيع لوغاريتمي عادي تراكمي متمم" الذي يأتي وصفه في التوصية ITU-R P.1057.
