**التوصيـة ITU-R  P.1853-2  
(2019/08)**

**تركيب السلاسل الزمنية   
لعوامل التردي التروبوسفيرية**

**السلسلة P**

**انتشار الموجات الراديوية**

**تمهيـد**

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 لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهرتقنية الدولية (ITU‑T/ITU‑R/ISO/IEC) والمشار إليها في القرار ITU‑R 1. وترد الاستمارات التي ينبغي لحاملي البراءات 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>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P انتشار الموجات الراديوية** | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بُعد | |
| **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، 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).

التوصيـة ITU‑R  P.1853-2

تركيب السلاسل الزمنية لعوامل التردي التروبوسفيرية

 (2019-2011-2009)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية أساليب تركيب السلاسل الزمنية لعوامل التردي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتلألؤ 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، التلألؤ، توهين المسار المائل الأحادي، المواقع المتعددة، توهين المسار المائل، التوهين المطري الكلي لوصلة أرضية أحادية، التوهين، مركِّب 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 والحراك الزمني لقناة الانتشار؛

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

توصـي

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

*أ )* ينبغي استخدام القسمين 2.2 و3.2 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي للأوكسجين في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

*ب)* ينبغي استخدام القسمين 1.3 و2.3 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

*ج)* ينبغي استخدام القسمين 1.4 و2.4 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

*د* *)* ينبغي استخدام القسمين 1.5 و2.5 من أجل تركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مسيرات ذات الموقع الواحد ومتعددة المواقع على التوالي؛

*ﻫ‍ )* ينبغي استخدام القسم 6 لتركيب التلألؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة،

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

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

*ب)* ينبغي استخدام القسم 3 من أجل تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل التردي 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 التردي التروبوسفيري الفردية  
في موقع واحد ومواقع متعددة على مسيرات أرض-فضاء

# 1 مقدمة

تقدم المنهجية المعروضة في هذا الملحق تقنيات لتركيب عوامل التردي 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، *Pannual* (hPa)، وبيانات كثافة بخار الماء السطحي السنوية المتوسطة، *WVannual* (g/m3)، 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 و90+ درجة شمالاً في خطوات تبلغ كل منها 0,75 درجة، وتتراوح شبكة خط الطول بين 180− درجة شرقاً و180+ درجة شرقاً في خطوات 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 اشتُق متوسط الضغط السطحي السنوي والخرائط السنوية المتوسطة لكثافة بخار الماء السطحي من 36 عاماً (2014-1979) من بيانات المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية متوسطة المدى (ECMWF).

## 2.2 تشكيلة الموقع الواحد

الشـكل 1

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي بالأوكسجين في موقع واحد



متوسط الحرارة السطحية السنوية

متوسط مجمل الضغوط السطحية السنوية

متوسط كثافة بخار الماء السطحي السنوي

التوهين بالأوكسجين (dB)

*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 وفقاً لأسلوب "التقدير التقريبي للتوهين الغازي في مدى التردد GHz 350‑1" الموصوف في التوصية ITU-R P.676 لما يسترعي الاهتمام من تردد وزاوية ارتفاع وعلو.

## 3.2 تشكيلة المواقع المتعددة

الشـكل 2

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين الغازي بالأوكسجين في مواقع متعددة



متوسط الحرارة السطحية السنوية

متوسط مجمل الضغوط السطحية السنوية

متوسط كثافة بخار الماء السطحي السنوي

التوهين بالأوكسجين (dB)

*الخطوة MS\_OX\_1*:احسب متوسط الحرارة السطحية السنوية *Ti*، حيث *i* = {1, 2, … *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 *Ti*.

*الخطوة MS\_OX\_2*:احسب متوسط الضغط السطحي السنوي *Pi*، حيث *i* = {1, 2, … *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 *Pi*.

*الخطوة MS\_OX\_3*:احسب متوسط كثافات بخار الماء السطحي السنوي *WVi*، حيث *i* = {1, 2, … *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 *WVi*.

*الخطوة MS\_OX\_4*:حول متوسط الحرارة السنوية *Ti*، ومتوسط الضغط السطحي السنوي *Pi*، ومتوسط كثافة بخار الماء السطحي *WVi* إلى متوسط التوهين السنوي بالأوكسجين وفقاً لأسلوب "التقدير التقريبي للتوهين الغازي في مدى التردد GHz 350‑1" 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 (*AWV*) 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، تركَّب السلسلة الزمنية المنفصلة للتوهين ببخار الماء، *AWV*(*t*)=*AWV*(*kTs*)، حيث *Ts* هو الوقت المناسب لأخذ العينات، من عملية الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، *n*(*t*)=*n*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى *kTs* بالرمز *k* فقط وتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتحوَّل من توزيع عادي إلى توزيع ويبول (Weibull) على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشـكل 3

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

الضوضاء  
الغوسية البيضاء

عملية  
غوسية متلازمة

التوهين ببخار  
الماء (dB)

يعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بثلاث معلمات:

*kWV*: 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

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد، *AWV*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ....، حيث *Ts* هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير *kWV* وλ*WV*

تحدَد معلمتا *kWV* وλ*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، يحتوى التوهين ببخار الماء مقابل احتمال حدوثه وفق توزيع Weibull على النحو التالي:

*الخطوة SS\_WV\_1*: أنشئ مجموعة من الأزواج [*Pi*, *AWVi*] حيث *Pi* (لنسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين ببخار الماء (dB) *AWVi* زيادةً. وينبغي للقيم المحددة ﻟ *Pi* أن تراعي مجال اهتمام الاحتمالات، على أن المقترح هو المجموعة التالية من النسب المئوية من الوقت 0,1 و0,2 و0,3 و0,5 و1 و2 و3 و5 و10 و20 و30 و%50.

*الخطوة SS\_WV\_2*: حول مجموعة الأزواج [*Pi*, *AWVi*] إلى .

*الخطوة SS\_WV\_3*:حدد المتحولين *a* و*b* باحتواء المربعات الصغرى في الدالة الخطية لمجموعة أزواج n*:*

 (1)

على النحو التالي:

 (2)

*الخطوة SS\_WV\_4*:احسب المعلمتين *kWV* و l*WV* على النحو التالي:

 (3)

**باء معلمة مرشاح التمرير المنخفض**

*الخطوة SS\_WV\_5*: اجعل *WV* = 3,65 × 10–6 (s–1).

**جيم تركيب السلاسل الزمنية**

تركَّب السلاسل الزمنية *AWV*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ... كما يلي:

*الخطوة SS\_WV\_6*: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*kTs*)، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة SS\_WV\_7*: اجعل *GWV*(0) = 0.

*الخطوة SS\_WV\_8*: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، *n*(*kTs*)، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

(4)               for *k* = 1, 2, 3, ....

حيث:

 (5)

*الخطوة SS\_WV\_9*: احسب *AWV*(*kTs*) من أجل *k* = 1, 2, 3, ... كما يلي:

 (6)

حيث (انظر التوصية ITU-R P.1057):

 (7)

*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 توزع الإحصاءات طويلة المدى للتوهين ببخار الماء في كل موقع (*AWVi*)، حيث *i* = {1, 2, … *M*} (*M* هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع Weibull.

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

وكما يظهر في الشكل 4، تركَّب السلسلة الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة، *AWVi*(*t*)=*AWVi*(*kTs*)، حيث *Ts* هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، *ni*(*t*)=*ni*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kTs بالرمز k فقط. وتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتحوَّل من توزيع عادي إلى توزيع ويبول (Weibull) على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشـكل 4

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة

A screenshot of a cell phone

Description automatically generated

التوهين ببخار الماء (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر مستقلة للضوضاء الغوسية البيضاء

متلازمة مكانياً وزمنياً للضوضاء الغوسية البيضاء

مصادر متلازمة مكانياً للضوضاء الغوسية البيضاء

مرشاح تمرير منخفض

ويعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بالمعلمات التالية في الموقع *i*:

*kWVi*: معلمة شكل توزع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)

λ*WVi*: معلمة مقياس توزع التوهين ببخار الماء وفق توزيع ويبول (Weibull)

β*WVi*: معلمة تصف الحراك الزمني (s–1)

*Dij*: المسافة بين الموقع *i* والموقع *j* (km)

### 2.2.3 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في مواقع متعددة، *AWVi*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ....، حيث *Ts* هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة و*i*=1,2,…, *M* (حيث *M* هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير *kWVi* وλ*WVi*

*الخطوة MS\_WV\_1:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، اتبع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.3 المقطع A بشأن مُركب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء في الموقع الواحد.

**باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض**

*الخطوة MS\_WV\_2*: بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، اجعل β*WVi* = 3,65 × 10–6 (s–1)

**جيم تركيب السلاسل الزمنية**

*الخطوة MS\_WV\_3*: بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، ، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة MS\_WV\_4*: احسب مصفوفة M x M، ***Rn***=[]، من أجل *i* = {1, 2, … *M*} و *j* = {1, 2, … *M*} كما يلي:

 (8)

حيث  و

و

 (9)

*الخطوة MS\_WV\_5*: احسب تفكيك Cholesky إلى عوامل[[1]](#footnote-1) المصفوفة ***Rn*** لتحديد المصفوفة المثلثة السفلية ***CWV*** =[]؛ أي:

***Rn****=****CWVCWV****T* (10)

*الخطوة MS\_WV\_6*: في كل خطوة زمنية *kTs*، احسب ***n****(kTs)* = [*n*1(*kTs*) *n*2(*kTs*) … *nM*(*kTs*)]T حيث:

***n****(kTs)=****CWV******ñ****(kTs)* (11)

و***ñ****(kTs)* = [*ñ*1(kTs) *ñ*2(*kTs*) … *ñM*(*kTs*)]

وكمرجعية:

 (12)

*الخطوة MS\_WV\_7*: بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*} وفي كل خطوة زمنية، نفذ الخطوات من *SS\_WV\_7* إلى *SS\_WV\_10* المحددة في الفقرة 2.1.3، المقطع C***،*** بشأن مركِّب 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 مكيَّف باحتمال التوهين السحابي غير الصفري. بما أن العلاقة بين التوهين السحابي (AC) وILWC علاقة خطية (انظر التوصية ITU-R P.840)، يمكن تقريب إحصاءات التوهين السحابي طويل الأجل (AC) بالمثل بتوزيع لوغاريتمي عادي مكيَّف.

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

ويركِّب أسلوب تركيب السلاسل الزمنية في موقع واحد سلسلة زمنية تستنسخ الخصائص الطيفية للتوهين ببخار الماء وتوزع احتمالاته.

وكما يظهر في الشكل 5، تركَّب السلسلة الزمنية للتوهين ببخار الماء في موقع واحد، *AC*(*t*)=*AC*(*kTs*)*،* حيث *Ts* هو وقت أخذ العينات، من عملية الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، *n*(*t*)=*n*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى kTs بالرمز k فقط 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 غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 5

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي

A picture containing clock

Description automatically generated

التوهين السحابي  
 (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر للضوضاء الغوسية البيضاء

عملية  
غوسية متلازمة

مرشاح تمرير منخفض

تحديد العتبات

يعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بثمانِ معلمات:

*mC*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف لمتوسط التوهين السحابي

σ*C*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف للانحراف المعياري للتوهين السحابي

:*PC* احتمال التوهين السحابي (%)

*C*: عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي

β*C*1 معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s–1)

β*C*2: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s–1)

γ*C*1: معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية

γ*C*2: معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية.

### 2.1.4 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي *AC*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ....,، حيث  هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير μ*C* وσ*C* و*PC*

يمكن حساب معلمات التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف لمتوسط، *mC*، التوهين السحابي غير الصفري، *PC*، ولانحرافه المعياري، σ*C*، من البيانات المحلية. وفي حال عدم توفر البيانات المحلية، يمكن تحديد هذه المعلمات من الخرائط الرقمية لمحتوى الماء السائل المتكامل ابعد 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 المكيَّف كما يلي:

*الخطوة SS\_CL\_1*: حدد المعلمات *mILWC1 وmILWC2 وmILWC3 وmILWC4 و*σ*ILWC1 و*σ*ILWC2 و*σ*ILWC3* وσ*ILWC4* و*PILWC1* و*PILWC2* و*PILWC3* و*PILWC4* في النقاط الشبكية الأربع الأقرب، من الخرائط الرقمية الواردة في التوصية ITU-R P.840.

*الخطوة SS\_CL\_2*: حدد قيمة المعلمات *mILWC* وσ*ILWC* و*PILWC* 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.

*الخطوة SS\_CL\_3*: احسب معامل التوهين النوعي للمياه السائلة السحابية *Kl*(f,T) من الأسلوب الموضح في التوصية ITU‑R P.840 من أجل تردد، *f*، يسترعي الاهتمام، وT=273,15 K.

*الخطوة SS\_CL\_4*: اجعل

 (13)

حيث φ هي زاوية ارتفاع المسير المائل الذي يسترعي الاهتمام.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

*الخطوة SS\_CL\_5*: اجعل

βC1 = 5,7643 × 10–4 (s–1)

βC2 = 1,7663 × 10–5 (s–1)

γC1 = 0,4394

γC2 = 0,7613

جيم عتبة البتر

*الخطوة SS\_CL\_6*: عتبة البتر a*C* هي:

 (14)

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

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركَّب السلاسل الزمنية *AC*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ... كما يلي:

*الخطوة SS\_CL\_7*: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*kTs*)، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة SS\_CL\_8*: اجعل *XC*1(0) = 0؛ *XC*2(0) = 0.

*الخطوة SS\_CL\_9*: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، *n*(*kTs*)، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

(15)       for *k* = 1, 2, 3,

حيث:

 (16)

*الخطوة SS\_CL\_10*: احسب *GC*(*kTs*) من أجل *k* = 1, 2, 3 كما يلي:

 (17)

*الخطوة SS\_CL\_11*: احسب *AC*(*kTs*) (dB) من أجل *k* = 1, 2, 3 كما يلي:

 (18)

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. وتُمثِّل 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 (*ACi*)، حيث *i* = {1, 2, … *M*} (*M* هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع لوغاريتمي عادي مكيَّف.

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

وكما يظهر في الشكل 6، تركَّب السلسلة الزمنية للتوهين السحابي في مواقع متعددة، *ACi*(*t*)=*ACi*(*kTs*)، حيث *Ts* هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، *ni*(*t*)=*ni*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى *kTs* بالرمز *k* فقط. 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 غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 6

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في مواقع متعددة

A close up of text on a white background

Description automatically generated

التوهين السحابي (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر  
مستقلة للضوضاء الغوسية البيضاء

مصادر متلازمة مكانياً للضوضاء الغوسية البيضاء

مرشاح تمرير منخفض

تحديد العتبات

متلازمة مكانياً وزمنياً للضوضاء الغوسية البيضاء

ويعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بالمعلمات التالية في الموقع *i*:

*mCi*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف لمتوسط التوهين السحابي

σCi: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف للانحراف المعياري للتوهين السحابي

: *PCi* احتمال تشكل السُحب (%)

α*C*i: عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي

β*C*1i معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s–1)

β*C*2i: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s–1)

γ*C*1i: معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية

γ*C*2i: معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية

*Dij*: 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 *ACi*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ....حيث *Ts* هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة و*i*=1,2,…, *M* (حيث *M* هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير *mCi* وσ*Ci* و*PCi*

*الخطوة* *MS\_CL\_1:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، احسب *mCi* وσ*Ci* و*PCi* باتباع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.4 المقطع A بشأن مُركب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي في الموقع الواحد.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

*الخطوة* *MS\_CL\_2:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، اجعل

β*C1i* = 5,7643 × 10–4 (s–1)

β*C2i* = 1,7663 × 10–5 (s–1)

γC1i =0,4394

γC2i = 0,7613

جيم عتبات البتر

*الخطوة* *MS\_CL\_3:* عتبات البتر  هي:

 (19)

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, … *M*}، ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي،  حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة* *MS\_CL\_5:* احسب مصفوفة *M* x *M*، ***Rn***=[]، من أجل *i* = {1, 2, … *M*} و *j* = {1, 2, … *M*} كما يلي:



(20)

حيث  و و و

و (21)

*الخطوة* *MS\_CL\_6:* احسب تفكيك Cholesky إلى عوامل1 المصفوفة ***Rn*** لتحديد المصفوفة المثلثة السفلية ***CC*** =[] حيث:

***Rn****=****CCCC****T* (22)

*الخطوة* *MS\_CL\_7:* احسب ***n****(kTs)* = [n1(kTs) n2(kTs) … nM(kTs)]T كما يلي:

***n****(kTs)=****CC******ñ****(kTs)* (23)

حيث ***ñ****(kTs)* = [ñ1(kTs) ñ 2(kTs) … ñ M(kTs)]T

وكمرجعية:

 (24)

*الخطوة* *MS\_CL\_8:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، نفذ الخطوات من *SS\_CL\_8* إلى *SS\_CL\_12* المحددة في الفقرة 2.1.4، المقطع D، بشأن مركِّب 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 مكيَّف لاحتمال التوهين المطري غير الصفري. ويقرِّب أسلوب قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بالتوهين المطري في التوصية ITU‑R P.618 تقريباً جيداً توزيعات التوهين المطري هذه بالتوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف عبر المدى الأهم من احتمالات التجاوز. وإذ 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 dB 0.

ويصلح هذا الأسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين GHz 4 وGHz 55 بزوايا ارتفاع تتراوح ما بين º5 وº90.

ويركِّب 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، تركَّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد، *AR*(*t*)=*AR*(*kTs*)، حيث *Ts* هو وقت أخذ العينات، من عملية منفصلة لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*t*)*=n*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى *kTs* بالرمز *k* فقط. فتُمرر الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي عبر مرشاح تمرير منخفض، وتُبتر لتتناسب مع الاحتمال المرغوب للتوهين المطري، وتحوَّل من توزيع عادي مبتور إلى توزيع لوغاريتمي مكيَّف على نحو غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 7

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري

A picture containing clock

Description automatically generated

تحديد العتبات

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر للضوضاء الغوسية البيضاء

مرشاح تمرير منخفض

عملية غوسية متلازمة

التوهين المطري  
 (dB)

يعرَّف مركّب السلاسل الزمنية بثمان معلمات:

*mR*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف لمتوسط التوهين المطري

σ*R*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف للانحراف المعياري للتوهين المطري

*PR*: احتمال التوهين المطري (%)

αR: عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي

βR1: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s–1)

βR2: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s–1)

γR1: معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية

γR2: معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية

## 2.1.5 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري *AR*(*kTs*)، *k* = 1, 2, 3, ....، حيث  هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة.

ألف تقدير *mR* و*σR* و*PR*

تحدَد معلمتا *mR* و*σR* 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 *mR* و*σR*.

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 *PR* 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 ([*Pi*,*/PR*, *ARi*]) حيث *Pi* (لنسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين المطري *ARi* (dB) زيادةً، حيث *Pi* ≤ *PR*. وينبغي للقيم المحددة ﻟ *Pi* 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 و%10، بشرط *Pi*≤*PR*.

*الخطوة SS\_RA\_3*: حول مجموعة الأزواج *[Pi,/PR, ARi]* إلى ،

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

*الخطوة SS\_RA\_4*: حدد المتحولين *mR* و*σR* بإجراء ملاءمة أقل عدد من المربعات مع  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.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

*الخطوة* *SS\_RA\_5*: اجعل:

βR1 = 9,0186 × 10–4 (s–1)

βR2 = 5,0990 × 10–5 (s–1)

γR1 = 0,3746

γR2 = 0,7738

جيم عتبة البتر

*الخطوة* *SS\_RA\_6*: عتبة البتر *aR* هي:

 (25)

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

دال تركيب السلاسل الزمنية

تركَّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري (*AR* (*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ...) كما يلي:

*الخطوة SS\_RA\_7*: ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*kTs*)، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة SS\_RA\_8*: اجعل *XR*1(0) = 0؛ *XR*2(0) = 0.

*الخطوة SS\_RA\_9*: مرر السلاسل الزمنية للضوضاء، *n*(*kTs*)، عبر مرشاح بواسطة مرشاح تمرير منخفض تكراري معرَّف كما يلي:

(26)                 for *k* = 1, 2, 3, ....

حيث:  (27)

*الخطوة SS\_RA\_10*: احسب *GR* (*kTs*)، من أجل *k* = 1, 2, 3, ... كما يلي:

 (28)

*الخطوة SS\_CL\_11*: احسب *AR* (*kTs*) (dB)، من أجل *k* = 1, 2, 3, ... كما يلي:

 (29)

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. وتُمثِّل 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 توزع الإحصاءات طويلة المدى للتوهين المطري في كل موقع (*ARi*)، حيث *i* = {1, 2, … *M*} (*M* هو العدد الإجمالي للمواقع)، وفق توزيع لوغاريتمي عادي مكيَّف.

ويركِّب 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، تركَّب السلسلة الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة، *ARi*(*t*)=*ARi*(*kTs*)، حيث *Ts* هو وقت أخذ العينات، من عمليات الضوضاء الغوسية البيضاء المنفصلة، *ni*(*t*)=*ni*(*kTs*). وللتبسيط، في الشكل، يشار إلى *kTs* بالرمز *k* فقط. 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 غير خطي وغير محفوظ في ذاكرة.

الشكل 8

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة

A close up of text on a white background

Description automatically generated

التوهين المطري (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر مستقلة للضوضاء الغوسية البيضاء

مصادر متلازمة مكانياً للضوضاء الغوسية البيضاء

مرشاح تمرير منخفض

تحديد العتبات

متلازمة مكانياً وزمنياً للضوضاء الغوسية البيضاء

ويعرَّف مركِّب السلاسل الزمنية بالمعلمات التالية في الموقع *i*:

*mRi*: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف لمتوسط التوهين المطري

σRi: التوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف للانحراف المعياري للتوهين المطري

: *PRi* احتمال التوهين المطري (%)

α*R*i: عتبة بتر الضوضاء المرتبطة ذات التوزيع الغوسي

β*R*1i معلمة تصف الحراك الزمني للمكون السريع في العملية (s–1)

β*R*2i: معلمة تصف الحراك الزمني للمكون البطيء في العملية (s–1)

γ*R*1i: معلمة تصف رجحان المكون السريع في العملية

γ*R*2i: معلمة تصف رجحان المكون البطيء في العملية.

*Dij*: المسافة بين الموقع i والموقع (km) *j*

### 2.2.5 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالية لتركيب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في مواقع متعددة *ACi*(*kTs*), *k* = 1, 2, 3, ....حيث  هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة و*i* = {1, 2, … *M*} (حيث *M* هو العدد الإجمالي للمواقع).

ألف تقدير mRi و**Ri وPRi

*الخطوة* *MS\_RA\_1:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، اتبع الخطوات المحددة في الفقرة 2.1.5 المقطع A بشأن مُركب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في الموقع الواحد.

باء معلمات مرشاح التمرير المنخفض

*الخطوة* *MS\_RA\_2:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، اجعل

*R*1*i* = 9,0186 × 10–4 (s–1)

*R*2*i* = 5,0990 × 10–5 (s–1)

*R*1*i*=0,3746

*R*2*i*= 0,7738

جيم عتبات البتر

*الخطوة* *MS\_RA\_3: عتبات البتر*  *هي:*

 (30)

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, … *M*}، ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي،  حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*الخطوة* *MS\_RA\_5:* احسب المصفوفة ***Rn***=[]، من أجل *i* = {1, 2, … *M*} و *j* = {1, 2, … *M*} كما يلي:

 (31)

حيث  و و و

و

*الخطوة* *MS\_RA\_6:* استخدم تفكيك Cholesky إلى عوامل1 المصفوفة ***Rn*** لتحديد المصفوفة المثلثة السفلية ***CR*** =[] حيث:

**Rn**=**CRCR**T (32)

*الخطوة* *MS\_RA\_7: احسب* ***n****(kTs)* = [n1(kTs) n2(kTs) … nM(kTs)]T*كما يلي:*

***n****(kTs)=****CR******ñ****(kTs)* (33)

حيث ***ñ****(kTs)* = [ñ1(kTs) ñ 2(kTs) … ñ M(kTs)]T

وكمرجعية:

 (34)

الخطوة *MS\_RA\_8*: بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، نفذ الخطوات من *SS\_ RA\_8* إلى *SS\_RA\_12* المحددة في الفقرة 2.1.5، المقطع D، بشأن مركِّب السلاسل الزمنية للتوهين المطري في موقع واحد.

# 6 التلألؤ التروبوسفيري لتغاير الوحدة

كما يظهر في الشكل 9، يمكن توليد السلاسل الزمنية للتلألؤ، ، بتمرير الضوضاء البيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*t*)، عبر مرشاح بحيث يكون لطيف الأس التقاربي للسلاسل الزمنية المرشحة تردد تناقص،*f*–8/3، وتردد قطع، *fc*، بمقدار Hz 0,1. علماً بأن الانحراف المعياري للتلألؤ يتزايد مع تزايد توهين المطر.

الشـكل 9

المخطط الوظيفي لمركّب السلاسل الزمنية لتلألؤ تغاير الوحدة

الاتساع (dB)

/dB 3/80–عشري

التردد

*n (t)*ضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي

sci(*t*)  
التلألؤ (dB)

مرشاح تمرير منخفض

A picture containing photo, clock, table

Description automatically generated

الملحق 2  
  
تركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل التردي التروبوسفيرية في الموقع الواحد  
والمواقع المتعددة على مسيرات أرض-فضاء

# 1 مقدمة

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

# 2 تشكيلة الموقع الواحد

## 1.2 نظرة عامة

تركَّب السلاسل الزمنية الناتجة عن الجمع بين التوهين الغازي والتوهين السحابي والتوهين المطري وخبو التلألؤ 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 فُضل التلازم الزمني للتوهين المطري لأن التوهين المطري هو التردي السائد.

ويُستكمل التوهين السحابي داخلياً في حال: أ) تركيب حدث مطري بقيمة توهين أكبر من 0 dB، وب) تجاوز التوهين السحابي عتبة  حيث φ هي زاوية الارتفاع ومعلمة *Kl* تعطى بالخطوة SS\_CL\_3 في الملحق 1.

وفي المسيرات في الاتجاه أرض-فضاء، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين GHz 4 وGHz 55 وفي زوايا ارتفاع تتراوح بين º5 وº90. وفي الترددات المنخفضة، وزوايا الارتفاع المعتدلة إلى العالية، والمناطق ذات المناخ المعتدل، يمكن تقريب إجمالي التوهين بالتوهين المطري بما يكفي من الدقة.

ويركِّب 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.

الشـكل 10

المخطط الوظيفي لمركِّب السلاسل الزمنية لإجمالي للتوهين والتلألؤ في موقع واحد

A close up of text on a white background

Description automatically generated

توهين (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر ضوضاء غوسية بيضاء

عمليات  
غوسية متلازمة

مرشاح تمرير منخفض

تحديد العتبات

تلألؤ مقيَّس

تلألؤ (dB)

توهين (dB)

مرشاح تمرير منخفض

متوسط درجات الحرارة السطحية السنوية

متوسط الضغوط السطحية السنوية

متوسط كثافة بخار الماء السطحية السنوية

عامل تصحيح الخبو/التحسين  
Cx

## 2.2 أسلوب الخطى المتدرجة

يركِّب أسلوب الخطى المتدرجة التالي السلاسل الزمنية لمجمل عوامل التردي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتلألؤ الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد *ATOT* (*kTs*)، *k* = 1, 2, 3, ....، حيث  هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة.

*الخطوة* *SS\_TOT\_1:* ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، *n*(*kTs*)، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

*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 *AWV*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي *n*(*kTs*)، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 3.1.2 من الملحق 1.

*الخطوة* *SS\_TOT\_4:* احسب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي *AC*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي *n*(*kTs*)، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.1.4 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة *SS\_CL\_5* بما يلي:

اجعل:

βC1 = βR1 = βRC1 = 9,0186 × 10–4 (s–1)

βC2 = βR2 = βRC2 = 5,0990 × 10–5 (s–1)

γC1 = γR1 = γRC1 = 0,3746

γC2 = γR2 = γRC2 = 0,7738

*الخطوة* *SS\_TOT\_5:* احسب السلاسل الزمنية للتوهين المطري *AR*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي *n*(*kTs*)، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.1.5 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة *SS\_CL\_5* بما يلي:

اجعل:

βR1 = βRC1 = 9,0186 × 10–4 (s–1)

βR2 = βRC2 = 5,0990 × 10–5 (s–1)

γR1 = γRC1 = 0,3746

γR2 = γRC2 = 0,7738

*الخطوة SS\_TOT\_6:* في كل خطوة زمنية *kTs*: في حال AR(kTs) > 0 و  عندئذ

اجعل *AC*(*kTs*)= .

*الخطوة SS\_TOT\_7*: عرف كثيرات حدود خبو وتحسين التلألؤ كما يلي:



*الخطوة* *SS\_TOT\_8:* ركِّب السلاسل الزمنية للتلألؤ في وحدة التغاير *Sci0*(*kTs*) باتباع الأسلوب الموصى به في الفقرة 6 من الملحق 1.

*الخطوة* *SS\_TOT\_9:* احسب السلاسل الزمنية لمعامل التصحيح *Cx*(*kTs*) للتمييز بين حالات خبو التلألؤ وحالات تحسينه:

 (35)

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

*الخطوة SS\_TOT\_10*: في حال  أو  عندئذ اجعل 

*الخطوة SS\_TOT\_11*: احسب الانحراف المعياري للتلألؤ sS وفقاً لأسلوب "حساب الإحصاءات الشهرية والطويلة الأجل لتلألؤ الاتساع عند زوايا ارتفاع أكبر من 5 درجات" في التوصية ITU-R P.618 (علماً بأن S يدعى  في التوصية ITU-R P.618).

*الخطوة SS\_TOT\_12*: حوّل السلاسل الزمنية للعملية الغوسية الكامنة الوسيطة *GWV*(*kTs*) من الخطوة *SS\_TOT\_3* إلى السلاسل الزمنية بتوزيع غاما[[2]](#footnote-2) *Z*(*kTs*) كما يلي:

 (36)

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

 (37)

علماً بأن 

*الخطوة SS\_TOT\_13*: احسب السلاسل الزمنية للتلألؤ *Sci*(*kTs*) كما يلي:

 (38)

*الخطوة SS\_TOT\_14*: احسب السلاسل الزمنية لعوامل التوهين التروبوسفيرية الكلية *ATOT* (*kTs*) كما يلي:

 (39)

# 3 تشكيلة المواقع المتعددة

## 1.3 نظرة عامة

تركَّب السلسلة الزمنية لمجمل التوهين وخبو وتحسين التلألؤ 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 فُضل التلازم الزمني للتوهين المطري لأن التوهين المطري هو التردي السائد. وللسبب نفسه، فُضل التلازم المكاني للتوهين المطري.

ويُستكمل التوهين السحابي داخلياً في حال: أ) وقوع حدث مطري (بقيمة توهين مطري مركب أكبر من 0 dB)، وب) تجاوز التوهين السحابي عتبة  حيث φ هي زاوية الارتفاع ومعلمة *Kl* تعطى بالخطوة SS\_CL\_3 في الملحق 1.

وفي المسيرات في الاتجاه أرض-فضاء، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين GHz 4 وGHz 55 وفي زوايا ارتفاع تتراوح بين º5 وº90. 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 التغاير 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 لمركِّب السلاسل الزمنية لإجمالي للتوهين والتلألؤ في مواقع متعددة

A close up of a map

Description automatically generated

توهين (dB)

جهاز غير خطي غير محفوظ في ذاكرة

مصادر ضوضاء غوسية بيضاء مستقلة

عمليات غوسية متلازمة مكانياً وزمنياً

مرشاح تمرير منخفض

تحديد العتبات

تلألؤ مقيَّس

تلألؤ (dB)

توهين (dB)

مرشاح تمرير منخفض

متوسط درجات الحرارة  
السطحية السنوية

متوسط الضغوط  
السطحية السنوية

متوسط كثافة بخار الماء  
السطحية السنوية

مصادر ضوضاء غوسية بيضاء مستقلة

عمليات غوسية متلازمة مكانياً

عامل تصحيح الخبو/التحسين  
Cx

عامل تصحيح الخبو/التحسين  
Cx

## 2.3 أسلوب الخطى المتدرجة

يُستخدم أسلوب الخطى المتدرجة التالي لتركيب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل التردي التروبوسفيرية (عوامل التوهين والخبو والتلألؤ الغازية والسحابية والمطرية وتحسينها) في الموقع الواحد والمواقع المتعددة، *ATOTi*(*kTs*)، *k* = 1, 2, 3, ....، حيث *Ts* هو الفاصل الزمني بين العينات، و*k* هو مؤشر كل عينة، و*i* = 1,2,…, *M* (حيث *M* هو العدد الإجمالي للمواقع).

الخطوة *MS\_TOT\_1:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، ركّب السلاسل الزمنية لضوضاء بيضاء بتوزيع غوسي، ، حيث *k* = 1, 2, 3, ... بمتوسط صفري وبتغاير الوحدة في فترة أخذ العينات، *Ts*، بمقدار ثانية واحدة (s 1).

الخطوة *MS\_TOT\_2:* احسب السلاسل الزمنية لمتوسط التوهين الغازي السنوي بالأوكسجين *AOi* باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.3 من الملحق 1.

الخطوة *MS\_TOT\_3:* احسب السلاسل الزمنية للتوهين ببخار الماء *AWVi*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي، ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 3.2 من الملحق 1.

الخطوة *MS\_TOT\_4:* احسب السلاسل الزمنية للتوهين السحابي *ACi*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي، ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 2.4 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة MS\_CL\_2 بما يلي:

اجعل:

βC1i = βR1i = βRC1i = 9,0186 × 10–4 (s–1)

βC2i = βR2i = βRC2i = 5,0990 × 10–5 (s–1)

γC1i = γR1i = γRC1i = 0,3746

γC2i = γR2i = γRC2i = 0,7738

واستعض عن الحساب  في الخطوة *MS\_CL\_5* بما يلي:

 (40)

الخطوة *MS\_TOT\_5:* احسب السلاسل الزمنية للتوهين المطري *ARi*(*kTs*) بدءاً من السلاسل الزمنية لضوضاء بتوزيع غوسي ، باتباع الإجراء الوارد في الفقرة 5.2.2 من الملحق 1، واستعض عن الخطوة *MS\_RA\_2* بما يلي:

اجعل:

βR1i = βRC1i = 9,0186 × 10–4 (s–1)

βR2i = βRC2i = 5,0990 × 10–5 (s–1)

γC1i = γR1i = γRC1i = 0,3746

γC2i = γR2i = γRC2i = 0,7738

واستعض عن الحساب  في الخطوة *MS\_RA\_5* بما يلي:

 (41)

الخطوة *MS\_TOT\_6:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، وكل خاتم زمني *kiTs*، في حال *ARi*(*kTs*) > 0   
و*ACi*(*kTs*) > ، اجعل *ACi*(*kTs*)= .

الخطوة *MS\_TOT\_7:* عرف كثيرات حدود خبو وتحسين التلألؤ كما يلي:



الخطوة *MS\_TOT\_8:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، ركِّب السلاسل الزمنية للتلألؤ في وحدة التغاير، *Sci0i*(*kTs*)، باتباع الأسلوب الموصى به في الفقرة 6 من الملحق 1.

الخطوة *MS\_TOT\_9:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، احسب السلاسل الزمنية لمعامل التصحيح *Cx*(*kTs*) للتمييز بين حالات خبو التلألؤ وحالات تحسينه:

 (42)

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*  أو  *عندئذ*  (43)

الخطوة *MS\_TOT\_11:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، احسب الانحراف المعياري للتلألؤ sS وفقاً لأسلوب "حساب الإحصاءات الشهرية والطويلة الأجل لتلألؤ 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 *GWVi*(*kTs*) من الخطوة *MS\_TOT\_3* إلى السلاسل الزمنية بتوزيع غاما *Zi*(*kTs*) كما يلي:

 (44)

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

 (45)

علماً بأن .

الخطوة *MS\_TOT\_13:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، احسب السلاسل الزمنية للتلألؤ  كما يلي:

 (46)

الخطوة *MS\_TOT\_14:* بالنسبة لكل رقم موقع *i* = {1, 2, … *M*}، احسب السلاسل الزمنية لمجمل عوامل التردي التروبوسفيرية *ATOTi*(*kTs*) كما يلي:

 (47)

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:

• يًفترض أيضاً أن إحصاءات المدى الطويل للتوهين المطري لها توزيع لوغاريتمي عادي مكيَّف.

• يقرِّب أسلوب قطاع الاتصالات الراديوية للتنبؤ بالتوهين المطري في التوصية ITU‑R P.530 هذا التوهين تقريباً جيداً بالتوزيع اللوغاريتمي العادي المكيَّف عبر المدى الأهم من احتمالات التجاوز.

• وإذ 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 dB 0.

• وفي مسيرات الأرض، يصلح أسلوب تركيب السلاسل الزمنية للترددات الواقعة ما بين GHz 4 وGHz 40 بأطوال مسير تتراوح ما بين km 2 وkm 60.

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 *mR* و*σR* و*PR*

تحدَد معلمتا *mR* و*σR* 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 *PR* على المسير (كنسبة مئوية من الوقت) من البيانات المحلية المقيسة، أو في حال عدم توفرها، يمكن اللجوء إلى أسلوب التنبؤ بالهطول المطري، ، الوارد في التوصية ITU-R P.837.

*الخطوة SS\_RA\_2:* أنشئ مجموعة من الأزواج [*Pi / PR*, *ARi*] حيث *Pi* (لنسبة مئوية من الوقت) هو احتمال تجاوز التوهين المطري (dB) *ARi* زيادةً، حيث *Pi* ≤ *PR*. وينبغي للقيم المحددة ﻟ Pi 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 و%10، بشرط *Pi*≤*PR*.

*الخطوة SS\_RA\_3:* حول مجموعة الأزواج [*Pi / PR*, *ARi*] إلى،

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

*الخطوة SS\_RA\_4:* حدد المتحولين *mR* و*R* بإجراء ملاءمة أقل عدد من المربعات مع  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.

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

1. توجد في لغات البرمجة Matlab وOctave وPython دوال تفكيك Cholesky إلى عوامل. [↑](#footnote-ref-1)
2. توجد في لغات البرمجة Matlab وOctave وPython دوال توزيع غاما ومقلوب غاما. [↑](#footnote-ref-2)