الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصيـــة ITU-R S.1521-1

(2010/01)

الخطأ المسموح به في الأداء على المسير الرقمي المرجعي الافتراضي القائم على التراتب الرقمي المتزامن

السلسلة S

الخدمة الثابتة الساتلية

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

تمهيـــد

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

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني http://www.itu.int/publ/R-REC/en)

السلسلة	العنـــوان
BO	البث الساتلي
BR	التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية
BS	الخدمة الإذاعية (الصوتية)
BT	الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)
F	الخدمة الثابتة
M	الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة
P	انتشار الموجات الراديوية
RA	علم الفلك الراديوي
S	**الخدمة الثابتة الساتلية**
RS	أنظمة الاستشعار عن بعد
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، 2010

© ITU 2010

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

التوصيـــة ITU-R S.1521-1

الخطأ المسموح به في الأداء على المسير الرقمي المرجعي الافتراضي القائم على التراتب الرقمي المتزامن

(2010-2001)

مجال التطبيق

تقوم الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) بدور هام في توفير اتصالات رقمية دولية موثوقة. ونظراً للتكامل مع المرافق الأرضية، ينبغي تصميم الوصلة الساتلية لتلبي متطلبات تتوافق مع الأنظمة الأرضية. وتوصّف توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 معلمات الأداء وأهدافه على المسيرات الرقمية المتزامنة الدولية المهيأة لحمل حركة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وأسلوب النقل غير المتزامن (ATM). واستجابةً لتلك الأهداف، تقدم هذه التوصية إرشادات بشأن أقنعة تصميم احتمال الخطأ في البتات (BEP) أو معدل الخطأ في البتات (BER) التي يمكنها أن تمتثل تماماً لمتطلبات توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن السواتل العاملة في الخدمة الثابتة الساتلية تقوم بدور هام في توفير اتصالات رقمية دولية موثوقة؛

ب) أن أداء الوصلة الساتلية يجب أن يكفي للسماح بالالتزام بأهداف الأداء الإجمالية من طرف–إلى–طرف، ومن ثم بأهداف الجودة للمستعمل النهائي؛

ج) أن أداء الوصلة الساتلية مستقل عن المسافة بصفة عامة؛

د) أن توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.1062 تحدد أهدافاً لأداء الوصلة الساتلية تتفق مع الأهداف المحددة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.826؛

هـ) أن توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G 828 توصّف أداء الأخطاء في المسيرات الرقمية المتزامنة الدولية ذات معدل البتات الثابت والمهيأة لحمل حركة بأسلوب النقل غير المتزامن (ATM) وفق تعريفه الوارد في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T I.356؛

و) أن توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.1429 توصّف ما هو مسموح في أداء الأخطاء جراء التداخل بين أنظمة ساتلية مختلفة؛

ز) أن توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.1323 تحدد كيفية حساب هوامش التشغيل لتشمل كل من الخبو والتداخل المتغيّر بمرور الوقت؛

ح) أن الضرورة تقتضي أن تؤخذ في الحسبان جميع الآليات المهيِئة لوقوع الخطأ لدى تحديد معايير أداء الأخطاء، ولا سيما ظروف الانتشار المتغيرة مع الوقت والتداخل؛

ي) أن أنظمة الساتل يمكن أن تُصمم لتلبية مجموعة واسعة من متطلبات الأداء،

توصي

1 بأن تُصمَم الوصلات الساتلية الواقعة ضمن الشبكة العامة والمهيأة لحمل حركة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وأسلوب النقل غير المتزامن (ATM)، بحيث تحقق المواصفات الواردة في هذه التوصية والتي تقوم على توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 (انظر الملحق 1)؛

2 باستعمال المنهجية التي يرد شرحها في الملحق 2 لإنتاج الأقنعة اللازمة لتصميم احتمال الخطأ في البتات (BEP)، انظر أيضا الملاحظة 2. وللالتزام بتوصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 التزاماً كاملاً، فإن احتمال الخطأ في البتات (BEP) المقسوم على متوسط عدد الأخطاء في الرشقة (BEP/α، انظر الفقرة 3 من الملحق 2) في خرج أي من طرفي مسير رقمي مرجعي افتراضي (HRDP)، خلال مجمل الوقت بما فيه الشهر الأسوأ، ينبغي ألا يتجاوز أقنعة تصميم المحددة في الجدول 1 وكذلك أقنعة احتمال الخطأ في البتات (BEP) الواردة في الشكل 2 في الملحق 2؛

الجـــدول 1

معدل البتات (kbit/s)	النسبة المئوية من مجمل الوقت (الشهر الأسوأ)	BEP/α
1 664	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
2 240	0,2	1×10^{-9}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
6 848	0,2	1×10^{-9}
	2,0	7×10^{-9}
	10,0	6×10^{-9}
48 960	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-9}
	10,0	1×10^{-9}
150 336	0,2	1×10^{-9}
	2,0	2×10^{-9}
	10,0	9×10^{-9}
601 334	0,2	يحدَد لاحقاً
	2,0	يحدَد لاحقاً
	10,0	يحدَد لاحقاً

3 تشكل الملاحظات التالية جزءاً من هذه التوصية:

الملاحظة 1 – يرد توصيف المسير الرقمي المرجعي الافتراضي (HRDP) المشار إليه في توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.521.

الملاحظة 2 – يمكن تقدير نسب احتمال الخطأ في البتات (BEP) بقياسه على فترة زمنية تطول بما يكفي. وترد في الملحق 1 في توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.1062 طريقة لقياس احتمالات الخطأ في البتات كدالة لنسبة مئوية أقصر من الوقت.

الملاحظة 3 – تسهيلاً للتطبيق، تعطى القيم الواردة في الجدول 1 بدلالة مجمل الوقت وهي تمثل حدود نموذج أداء احتمال الخطأ في البتات (BEP) الذي يستخدم الطريقة المبينة في الملحق 2. ولدى التوصل إلى الأرقام الواردة في الجدول 1، استُبعدت الأخطاء الواقعة أثناء فترة عدم التوفر. وليست احتمالات الخطأ في البتات الواردة في الجدول 1 هي الوحيدة التي تلبي متطلبات توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828، بل يمكن استعمال أقنعة أخرى لاحتمال الخطأ في البتات حيثما كان ذلك مناسباً لتلبية توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828.

الملاحظة 4 – تسري هذه التوصية على الأنظمة الساتلية العاملة ما دون التردد 15 GHz. أما شمولها لأنظمة تعمل على ترددات أعلى، فهو موضوع دراسة أخرى.

الملاحظة 5 – استُعملت قيمة 1×10^{-8} لاحتمال الخطأ في البتات (BEP) كعتبة عدم التوفر.

الملاحظة 6 – تعطى الأهداف الواردة في الجدول 1 بدلالة النسبة المئوية من أسوأ شهر. وتقابل النسبُ المئوية الشهرية النسبَ المئوية السنوية التالية:

– 10% من شهر = 4,0% من سنة؛

- 2% من شهر = 0,6% من سنة؛
- 0,2% من شهر = 0,04% من سنة.

الملاحظة 7 – للالتزام بالجدول 1 في ترددات تزيد عن 10 GHz (انظر أيضاً الملاحظة 4)، لعله من المفيد اللجوء إلى التدابير المضادة للخبو بما فيها تشفير التصحيح المسبق للخطأ (FEC)، أو التحكم في القدرة أو تنوع المواقع. وترد في الملحق 1 في توصية قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R S.1061 معلومات عن التشغيل في تنوع المواقع.

الملاحظة 8 – الأسلوب المفضل للتحقق من أداء وصلة ساتلية رقمية يقوم على القياسات أثناء الخدمة. ومن شأن هذه القياسات أن تستخدم خطط كشف خطأ الفدرة المتصلة بالحجم الملازم لفدرة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وببنية نظام الإرسال. ويؤثر تشفير التصحيح المسبق للخطأ (FEC) والتخليط والتشفير التفاضلي على تفسير القياسات (انظر الملحق 2، الفقرة 3).

الملاحظة 9 – وُضع أداء الأخطاء الوارد في الجدول 1 على أساس استعمال المسير الرقمي المرجعي الافتراضي (HRDP) في الشطر الدولي من الوصلة (مثل بوابة دولية مبدلة إلى بوابة دولية مبدلة). ويمكن أن يتضمن التوصيل تطبيقات أخرى للمسير الرقمي المرجعي الافتراضي (مثل مكتب الطرف إلى مكتب الطرف) ويمكن تعديل أهداف أداء الأخطاء وفقاً لذلك.

الملاحظة 10 – يمكن تطبيق الطرائق المذكورة في هذه التوصية على تصميم الوصلات الساتلية في الشبكات الخاصة.

الملاحظة 11 – يتعين تحقيق أهداف الأداء لمعدل الإرسال المطلوب وليس لأي معدل أعلى أُعدّ لدعم الإرسال المتعدد أو تصحيح الخطأ. فعلى سبيل المثال، إذا بلغ معدل الإرسال عبر وصلة ساتلية 6 Mbit/s وبلغ معدل الإرسال اللازم بين نقطتين طرفيتين 2 Mbit/s، تُطبَّق أهداف الأداء لإرسال معدله 2 Mbit/s.

الملحق 1

1 اعتبارات عامة

تعرّف توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 معلمات أداء الأخطاء وأهدافه للمسيرات الرقمية المتزامنة الدولية المهيأة لحمل حركة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) وأسلوب النقل غير المتزامن (ATM). وتعتمد هذه التوصية جميع معلمات التعاريف والأهداف المحددة فيها. وتُعرَّف الأهداف الواردة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 على أنها مستقلة عن الشبكة المادية الداعمة للمسير.

ويُدعم قياس معدلات الخطأ في طبقة التراتب الرقمي المتزامن (SDH) بشفرات تعادلية تشذير البتات (BIP) المحمولة في رأسيات حاوية التراتب الرقمي المتزامن.

1.1 تعاريف

تسهيلاً على القارئ، تُكرر هنا التعاريف الواردة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828.

تستند قياسات أداء الأخطاء إلى فدرات يتسق حجمها مع هيكل إطار التراتب الرقمي المتزامن (SDH) ويتغير وفقاً لمعدل البتات، انظر الجدول 2.

1.1.1 الفدرة

الفدرة هي مجموعة من البتات المتعاقبة المرتبطة بمسير، وتنتمي كل بتة إلى فدرة واحدة حصراً. ولا يمكن لبتات متعاقبة أن تكون متجاورة زمنياً.

2.1.1 أحداث الخطأ

- *فدرة مشوبة بالخطأ (EB)*: هي فدرة فيها خطأ في بتة واحدة أو أكثر.
- *ثانية مشوبة بالخطأ (ES)*: هي ثانية واحدة من الزمن فيها فدرة واحدة أو أكثر مشوبة بالخطأ أو فيها خلل واحد على الأقل. ويُدرَج الخلل ومعايير الأداء ذات الصلة في الملحق باء في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828.
- *ثانية شديدة الخطأ (SES)*: هي ثانية واحدة من الزمن فيها الفدرات المشوبة بالخطأ ≤ 30%، أو فيها خلل واحد على الأقل. والثانية شديدة الخطأ هي مجموعة فرعية ضمن الثانية المشوبة بالخطأ. ولتبسيط القياسات، تُعرَّف الثانية شديدة الخطأ بدلالة الخلل بدلاً من شدة الأخطاء في البتات. ولكن ينبغي الانتباه إلى إمكانية وجود أنماط من الخطأ لا تنبئ بوجود خلل. وستبين التجربة الميدانية ما إذا كان ذلك يمثل مشكلة ذات شأن في قياس الأخطاء.
- *خطأ خلفية الفدرة (BBE)*: هو فدرة مشوبة بالخطأ (EB) لا تحدث كجزء من ثانية شديدة الخطأ (SES).
- *فترة شديدة الخطأ (SEP)*: هي سلسلة متتابعة من 3 إلى 9 ثوان متعاقبة شديدة الخطأ. وتُنهى الفترة بثانية ليست شديدة الخطأ. وهكذا فإن حدث الفترة شديدة الخطأ هو نفس حدث الثواني المتعاقبة شديدة الخطأ (CSES)، على النحو المعرَّف في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.784، مع ضبط العتبة الدنيا عند 3 ثوان.

ويورد الجدول 2 العلاقات ما بين أحجام الفدر ومعدلات البتات وشفرة كشف الخطأ (EDC) وأنماط المسيرات.

الجـــدول 2

أحجام الفدر مقابل معدلات البتات

معدل البتات (kbit/s)	نمط المسير	حجم فدرة SDH المستعملة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 (بتات)	EDC
1 664	VC-11، TC-11	832	BIP-2
2 240	VC-12، TC-12	1 120	BIP-2
6 848	VC-2، TC-2	3 424	BIP-2
48 960	VC-3، TC-3	6 120	BIP-8
150 336	VC-4، TC-4	18 792	BIP-8
601 344	VC-4-4c، TC-4-4c	75 168	BIP-8
2 405 376	VC-4-16c، TC-4-16c	300 672	BIP-8
9 621 504	VC-4-64c، TC-4-64c	1 202 688	BIP-8

VC: تعني قناة افتراضية (virtual channel).

TC: تعني توصيل رديف (Tandem connection).

3.1.1 معلمات أداء الأخطاء

ينبغي ألا يقيَّم أداء الأخطاء إلا عندما يكون المسير في حالة التوفر. وللاطلاع على تعريف معايير الدخول والخروج في حالة عدم التوفر، انظر الملحق ألف في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828.

- *نسبة الثواني المشوبة بالخطأ (ESR)*: هي نسبة الثواني المشوبة بالخطأ إلى مجمل الثواني في وقت التوفر أثناء فترة قياس ثابتة.
- *نسبة الثواني شديدة الخطأ (SESR)*: هي نسبة الثواني شديدة الخطأ إلى مجمل الثواني في وقت التوفر أثناء فترة قياس ثابتة.

- *نسبة خطأ خلفية الفدرة (BBER)*: هي نسبة خطأ خلفية الفدرة إلى مجمل الفدر في وقت التوفر أثناء فترة قياس ثابتة. ويستبعد العدد الإجمالي للفدر جميع الفدر أثناء الثواني شديدة الخطأ (SES).
- *كثافة الفترات شديدة الخطأ (SEPI)*: هي عدد المرات التي تصادَف فيها الفترات شديدة الخطأ في وقت التوفر مقسوماً على مجمل ثواني وقت التوفر. ومن ثم، فإن وحدة معلمة كثافة الفترات شديدة الخطأ (SEPI) هي 1/s.

4.1.1 القياسات القائمة على الفدرة

تراقَب كل فدرة بواسطة شفرة كشف الخطأ بتعادلية تشذير البتات (BIP EDC) المحمولة في رأسية التراتب الرقمي المتزامن (SDH). فعند كشف حالة خطأ، يتعذر تحديد ما إذا كان الخطأ عائداً للفدرة أو لبتات شفرة كشف الخطأ (EDC) المتحكمة فيها. لذلك، في حال وجود التباس بين شفرة كشف الخطأ وفدرتها الخاضعة للتحكم، يتعين الافتراض دوماً أن الخطأ في الفدرة.

2 أهداف أداء الأخطاء

1.2 الأهداف من طرف–إلى–طرف

يحدد الجدول 3 الأهداف من طرف–إلى–طرف لمسير مرجعي افتراضي (HRP) طوله 500 27 km. وتُستقى الأهداف السارية على مسير حقيقي من الجدول 3 باستعمال مبادئ التوزيع المفصلة في الفقرة 2.6 من توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828. ويتعين أن يلبي كل اتجاه في المسير، على حدة، الأهداف الموزعة لجميع المعلمات. وهذه أهداف طويلة الأجل يتعين تحقيقها عادةً على مدى 30 يوماً متعاقباً.

الجـــدول 3

أهداف أداء الأخطاء من طرف–إلى–طرف لمسير مرجعي افتراضي (HRP) رقمي متزامن دولي طوله 500 27 km على النحو المحدد في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828

معدل البتات (kbit/s)	نمط المسير	الفدر/الثانية	ESR	SESR	BBER[1]	SEPI[2]
1 664	TC-11 ،VC-11	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	s/0,0002
2 240	TC-12 ،VC-12	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	s/0,0002
6 848	TC-2 ،VC-2	2 000	0,01	0,002	5×10^{-5}	s/0,0002
48 960	TC-3 ،VC-3	8 000	0,02	0,002	5×10^{-5}	s/0,0002
150 336	TC-4 ،VC-4	8 000	0,04	0,002	1×10^{-4}	s/0,0002
601 344	TC-4-4c ،VC-4-4c	8 000	[3]	0,002	1×10^{-4}	s/0,0002

[1] يقابل هدف BBER هذا ما يعادل $8{,}3 \times 10^{-10}$ من BER، أي بتحسن قدره $5{,}3 \times 10^{-9}$ في خطأ BER لمعدل VC-4. ويعد خطأ BER المكافئ قيماً كمؤشر لأداء الأخطاء مستقل عن المعدل، لأنه لا يمكن لأهداف BBER أن تبقى ثابتة مع تنامي أحجام الفدر.

[2] قيمة مؤقتة تستلزم المزيد من الدراسة.

[3] تكاد أهداف ESR تفقد أهميتها في معدلات البتات العالية، لذلك فهي لا تُحدَد للمسيرات العاملة بمعدلات أعلى من 160 Mbit/s. غير أن زيادة كبيرة في ESR تشير إلى تدهور نظام الإرسال. إذن، ينبغي تنفيذ مراقبة ES لأغراض الصيانة.

ويمكن للمسيرات الرقمية المتزامنة العاملة بمعدلات بتات تشملها هذه التوصية أن تُحمل بالأقسام الرقمية العاملة بمعدلات بتات أعلى. ولابد لمثل هذه الأنظمة أن تحقق أهدافها من طرف–إلى–طرف. ففي التراتب الرقمي المتزامن (SDH) مثلاً، يمكن لقسم وحدة النقل المتزامن 1 (STM-1) أن يحمل مسير القناة الافتراضية 4 (VC-4)، ولذلك ينبغي تصميم قسم أسلوب النقل المتزامن 1 بحيث يضمن الالتزام بأهداف مسير القناة الافتراضية 4.

وتوزَّع الأهداف على الشطرين الوطني والدولي من المسير. وفي المثال أعلاه، لا يشكل قسم وحدة النقل المتزامن 1 (STM-1) شطراً وطنياً أو دولياً كاملاً، فيجب تقسيم التوزيع الوطني/الدولي المقابل جزئياً لتحديد التوزيع المناسب للقسم الرقمي. وهذا خارج نطاق هذه التوصية.

2.2 اقتسام الأهداف من طرف–إلى–طرف

تُقتسم المستويات المتوقعة للأداء بين الشطرين الدولي والوطني لمسير مرجعي افتراضي (HRP).

أما التقسيمات الإضافية لهذه الأهداف فهي خارج نطاق هذه التوصية.

1.2.2 التوزيع إلى الشطر الوطني

تُوزع إلى كل شطر وطني حصة ثابتة نسبتها 17,5% من الأهداف من طرف–إلى–طرف إضافةً إلى التوزيع القائم على المسافة.

وعندما يتضمن الشطر الوطني قفزة ساتلية، توزَع إليه حصة إجمالية نسبتها 42% من الأهداف من طرف–إلى–طرف الواردة في الجدول 3. وتحل هذه الحصة كلياً محل التوزيع القائم على المسافة وتوزيع الفدرة بنسبة 17,5%.

2.2.2 التوزيع إلى الشطر الدولي

تتلقى أية قفزة ساتلية في الشطر الدولي توزيعاً نسبته 35% من الأهداف الواردة في الجدول 3 بصرف النظر عن المسافة التي تغطيها. ويحل هذا التوزيع كلياً محل توزيعات الفدرة القائمة على المسافة وتوزيعات الفدرة الواردة في أجزاء من الشطر الدولي التي تغطيها القفزة الساتلية.

3 أهداف أداء مسير رقمي مرجعي افتراضي (HRDP) للساتل

الجـــدول 4

أهداف أداء مسير رقمي مرجعي افتراضي (HRDP) للساتل في وصلة تراتب رقمي متزامن (SDH) دولي

المعدل (kbit/s)	1 664 (VC-11)	2 240 (VC-12)	6 848 (VC-2)	48 960 (VC-3)	150 336 (VC-4)	601 334 (VC-4-4c)
ESR	0,0035	0,0035	0,0035	0,007	0,014	[1]
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	$5-10 \times 1,75$	$5-10 \times 1,75$	$5-10 \times 1,75$	$5-10 \times 1,75$	$4-10 \times 0,35$	$4-10 \times 0,35$

[1] نظراً لعدم وجود معلومات عن أداء المسيرات العاملة فوق 160 Mbit/s، لا توصى أهداف لنسبة الثواني المشوبة بالخطأ (ESR) في هذا الحين. ومع ذلك، ينبغي أن تنفذ معالجة نسبة الثواني المشوبة بالخطأ ضمن أي نظام بعمل بهذه المعدلات لأغراض الصيانة أو المراقبة.

الملحق 2

اشتقاق قناع احتمال الخطأ في البتات (BEP)

1 مقدمة

لا يصح الاستعمال المباشر للمعلمات والأهداف المعرّفة في توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 في تصميم نظام إرسال ساتلي. إذ يجب أن تحوَّل إلى احتمال الخطأ في البتات (BEP) مقابل توزيع النسبة المئوية من الوقت، وهو ما يدعى أيضاً قناع احتمال الخطأ في البتات، وبذلك فإن أي نظام إرسال رقمي يُصمم لتلبية القناع من شأنه أن يلبي أيضاً أهداف التوصية. بيد أن التحويل الذي يرد شرحه في هذا الملحق لا يؤدي إلى قناع واحد مميز.

ويوضح هذا الملحق منهجية لإنشاء قناع احتمال الخطأ في البتات.

2 احتمال وقوع الأحداث الأساسية

من المعروف أن أخطاء الإرسال عبر وصلات ساتلية تحدث على رشقات، حيث يكون متوسط عدد الأخطاء في الرشقة رهناً بالمخلّط وشفرة التصحيح المسبق للخطأ (FEC)، من جملة عوامل أخرى. ومن ثم، يجب أن يأخذ النموذج الناجح للأداء الرقمي عبر الوصلات الساتلية في الحسبان هذه الطبيعة المتقطعة للأخطاء.

وأحد النماذج الإحصائية التي يمكن أن تمثل الوقوع العشوائي للرشقات هو التوزيع المتجاور نيمان–آ (Neyman-A) حيث احتمال الأخطاء k التي تقع في عدد N من البتات، $P(k)$، هو كما يلي:

$$P(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\frac{BEP \cdot N}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{j^k}{j!} \left(\frac{BEP \cdot N}{\alpha} \right)^j e^{-j\alpha} \quad (1)$$

حيث:

α: متوسط عدد البتات المشوبة بالأخطاء في رشقة من الأخطاء

BEP: احتمال الخطأ في البتات.

فإذا أُخذ $N = N_B$ كعدد البتات في فدرة بيانات، فإن احتمال انعدام الأخطاء في فدرة هو كما يلي:

$$P(0) = e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha} \right)^j \Big/ j! \right] e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} \quad (2)$$

لجميع القيم العملية لـــ α.

ويعطى احتمال فدرة يشوبها الخطأ، P_{EB}، بالمعادلة التالية:

$$P_{EB} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\frac{BEP \cdot N_B}{\alpha}} = 1 - e^{-N_B \cdot BEP_{CRC}(t)} \quad (3)$$

حيث $BEP_{CRC}(t) = BEP/\alpha$، ويظهر BEP_{CRC} بوضوح كدالة للوقت. إذن يمكن صياغة احتمال الثانية المشوبة بالخطأ *(ES)*، $P_{ES}(t)$، كما يلي:

$$P_{ES}(t) = 1 - e^{n \cdot P_{EB}(t)} \quad (4)$$

حيث n هو عدد الفدر في الثانية.

وباعتبار أن احتمال الفدر المشوبة بالخطأ k، $P_{n,k}(t)$، بين إجمالي عدد الفدر n، يعطى بالمعادلة التالية:

$$P_{n,k}(t) = \frac{n!}{(n-k)!k!}(1-P_{EB}(t))^{n-k}\ P_{EB}^{k}(t) \tag{5}$$

فإن احتمال الثانية شديدة الخطأ (SES)، $P_{SES}(t)$، هو كما يلي:

$$P_{SES}(t) = \sum_{k=0.3n}^{n} P_{n,k}(t) = 1 - \sum_{k=0}^{0.3n-1} P_{n,k}(t) = 1 - \sum_{k=0}^{0.3n-1} \frac{n!}{(n-k)!k!}(1-P_{EB}(t))^{n-k}\ P_{EB}^{k}(t) \tag{6}$$

1.2 إنتاج الأقنعة

إذا افترضنا أن الشكل العام للقناع هو كما في الشكل 1، واستعملنا صيغة الاحتمال، فإن نسبة الثواني المشوبة بالخطأ (ESR) (المعرّفة كإجمالي الثواني المشوبة بالخطأ، أي الثواني ذات فدرة واحدة أو أكثر مشوبة بالأخطاء) مقسومة على مجموع الثواني المتاحة، T_a، تعطى كما يلي:

$$ESR = \frac{\int_{T_a} P_{ES}(t)}{T_a} \tag{7}$$

وبالمثل، فإن نسبة الثواني شديدة الخطأ (SESR) تعطى كما يلي:

$$SESR = \frac{\int_{T_a} P_{SES}(t)}{T_a} \tag{8}$$

وإذا افتُرض أن الاحتمالين $P_{ES}(t)$ و$P_{SES}(t)$ ثابتان على مر الزمن بصورة مجتزأة، يمكن التعبير عن ESR وSESR كما يلي:

$$ESR = \sum_{i=1}^{M} P_{ES_i} \cdot \Delta t_i \tag{9}$$

و

$$SESR = \sum_{i=1}^{M} P_{ES_i} \cdot \Delta t_i \tag{10}$$

حيث M هو العدد الإجمالي للفترات زمنية، و$P_{ES_i}(t)$ و$P_{SES_i}(t)$ هما احتمال ES وSES على التوالي في الفترة الزمنية ذات الترتيب i مقسومين على T_a.

وتعرَّف نسبة خطأ خلفية الفدرة (BBER) على أنها النسبة بين الفدر المشوبة بالخطأ إلى مجمل الفدر أثناء الثواني المتوفرة، مع استبعاد جميع الفدر أثناء الثواني شديدة الخطأ (SES). إذن:

$$BBER = \frac{\int_{T_a}\left(\sum_{k=1}^{0.3n} P_{n,k}(t)\cdot k\right)\mathrm{d}t}{n\cdot\left(T_a - \int_{T_a} P_{SES}(t)\cdot \mathrm{d}t\right)} = \frac{\sum_{k=1}^{0.3n}\left(\frac{1}{T_a}\int_{T_a} P_{n,k}(t)\cdot \mathrm{d}t\right)\cdot k}{n\cdot(1-SESR)} \tag{11}$$

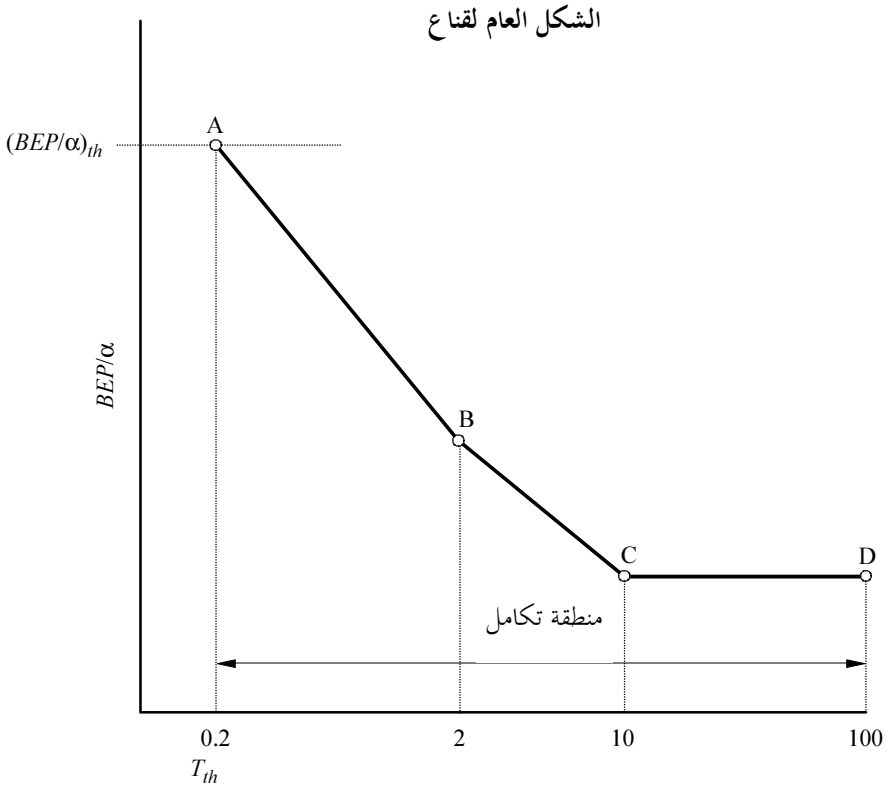
وإذا جعلنا $\overline{P_{n,k}} = \frac{\int P_{n,k} \cdot \mathrm{d}t}{T_a}$ ، يمكن التعبير عن نسبة خطأ خلفية الفدرة (BBER) كما يلي:

$$BBER = \frac{\sum_{k=1}^{0.3n} \overline{\mathrm{P}_{n,k}} \cdot k}{n \cdot (1 - SESR)} \tag{12}$$

ولكن لدى اختيار قيمة BEP_{th}/α لإنتاج الأقنعة، يجب الأخذ في الاعتبار خطأ تفسيرات المؤشر (IPI)، وهو أمر حيوي لتشغيل وصلات التراتب الرقمي المتزامن (SDH) على الوجه الصحيح. وقد بينت القياسات أن خطأ تفسيرات المؤشر (IPI) يزداد كثيراً عندما يقترب احتمال الخطأ في البتات (BEP) من 1×10^{-7} أو يزيد، وهو أدنى بكثير من احتمال الخطأ الذي يتسبب بفقدان التزامن في المودمات الساتلية. وفي ضوء ذلك، سيتعين إجراء دراسة أخرى لتحديد عتبة احتمال الخطأ في البتات في خطأ تفسيرات المؤشر، والتي يُرمز إليها هنا بـ BEP_{IPI}، حيث تصبح وصلة التراتب الرقمي المتزامن للساتل غير متوفرة لأن تلك العتبة ستكون عاملاً مقيداً. ولأغراض هذه التوصية، أُسندت قيمة 1×10^{-9} إلى BEP_{th}/α (التي تساوي BEP_{IPI}/α).

الشـــكل 1

الشكل العام لقناع



وستُنتج هذه الطريقة عدداً لا حصر له من الأقنعة تحقق أهداف الأداء لتوصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828. لذلك، تُستعمل العملية التالية لتحديد القناع وتحديد النقاط B وC وD من القناع (انظر الشكل 2):

الخطوة 1: اضبط القيمة $BEP_{th}/\alpha = 1 \times 10^{-9}$.

الخطوة 2: اضبط القيمة الزمنية لعتبة عدم التيسر، T_{th}، ($T_{th} = 0{,}2\%$) بحيث أن النقطة A تقابل القيمة BEP_{th}/α.

الخطوة 3: اضبط قيم القناع عند 2% و10% و100% من الوقت (النقاط B وC وD).

الخطوة 4: احسب ESR وSESR وBBER بإجراء التكامل عبر المنطقة ما بين T_{th} (0,2%) و100%. وفي اشتقاق هذه الأقنعة، يُفترض أن الوصلة الساتلية غير متوفرة لقيم احتمال الخطأ في البتات (BEP) التي تزيد عن BEP_{th}/α.

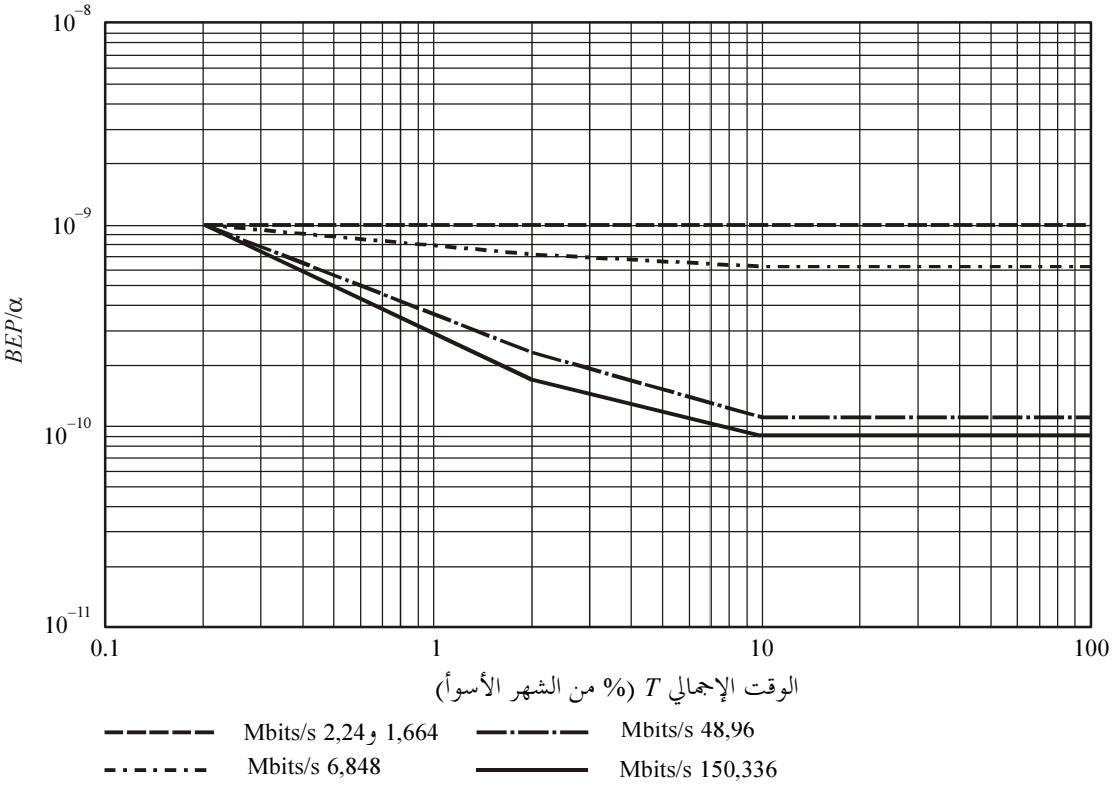
الخطوة 5: كرر الخطوتين 3 و4 حتى تحقق جميع المعلمات (ESR وSESR وBBER) الأهداف الواردة في الجدول 3.

وتضمن العملية المذكورة أعلاه عدم توفر وصلة في 0,2% من الوقت.

وباستعمال العملية المذكورة أعلاه مع الافتراضات الإضافية بتطابق النسبة BEP/α المقابلة للنقطتين C وD، جرى إنتاج مجموعة من الأقنعة، على سبيل المثال، لمعدلات إرسال مختلفة، وهي مبينة في الشكل 2.

الشـــكل 2

الأقنعة المنتجَة للقفزات الساتلية



$10 = \alpha$
وقت عتبة BEP هو 1 x 10-8
الوقت المتوفر من 0,002 إلى 1
بتفوق أداء جميع النماذج على معايير BBER
كما يتفوق نموذج 1,664 و2,24 Mbit/s على معايير ESR

1521-02

3 العلاقة بين معدل الخطأ في البتات (BER) ونسبة أحداث الخطأ

من المعروف جيداً أن الأخطاء على الوصلات الساتلية، التي تستخدم التصحيح المسبق للخطأ (FEC) وخطط التخليط، تقع عادةً على شكل حشود. واحتمال ظهور الحشود، الذي يمكن أن يدعى أيضاً أحداث الخطأ، هو احتمال عشوائي يتبع توزيع بواسون (Poisson). والمعدل الناتج لخطأ الفدرة هو نفسه كما لو كانت تسببه أخطاء بتات تقع عشوائياً (بتوزيع بواسون)

مع BER وBER/α، حيث α (المستعمل في الفقرة 1.2 لاحتساب تقطع الأخطاء) هو متوسط عدد البتات المشوبة بالخطأ ضمن حشد. كما يمثل α النسبة بين معدل الخطأ في البتات ونسبة أحداث الخطأ. فمثلاً، يُعتبر α مساوياً لواحد. غير أن α قد تزيد عن واحد في خطط التعديل ذات المرتبة الأعلى.

وفي خطة معينة للتصحيح المسبق للخطأ (FEC)، يمكن تقدير القيم النظرية لـ α باللجوء إلى توزيع وزن الخطة. وترد في الفقرة 1.3 خلفية اشتقاق القيمة النظرية. وتتوقف الخصائص الإحصائية لحشود الأخطاء على الخطة المستعملة للتصحيح المسبق للخطأ/المخلّط. وقد استُعملت عمليات محاكاة وقياسات حاسوبية لمختلف خطط التصحيح المسبق للخطأ (دون مخلّط أو تشفير تفاضلي) لتحديد العامل α. وتفترض قناة غوسية (Gaussian) بيضاء مضافة في المحاكاة. وترد هذه النتائج في الفقرات 2.3 إلى 6.3.

1.3 اشتقاق متوسط عدد البتات المشوبة بالخطأ في حشد

في الشفرة C للفدرة المنهجية (n,k)، تعطى وظيفتها المعروفة لتعداد الوزن (WEF) كما يلي:

$$B^C(H) \underline{\Delta}\!\underline{=} \sum_{i=0}^{n} B_i H^i \tag{13}$$

حيث:

B_i: عدد (صحيح) من كلمات الشفرة مع وزن هامنغ (Hamming) (عدد الواحدات) i

H: متغير وهمي.

ويمكن استعمال وظيفة تعداد الوزن (WEF) لشفرة لحساب الصيغة الدقيقة لاحتمال الأخطاء غير المكتشفة والحد الأعلى لاحتمال الخطأ في كلمة.

ويمكن تعريف وظيفة تعداد وزن إطناب الدخل (IRWEF) لشفرة على النحو التالي:

$$A^C(W,Z) \underline{\Delta}\!\underline{=} \sum_{w,j} A_{w,j} W^w Z^j \tag{14}$$

حيث $A_{w,j}$ يدل على عدد (صحيح) من الكلمات المولدة بكلمة معلومات مُدخَلة لوزن هامنغ w الذي تكون لبتات اختبار التعادلية فيه وزن هامنغ، j، بحيث يبلغ مجمل وزن هامنغ $w+j$. وتبين وظيفة تعداد وزن إطناب الدخل (IRWEF) المساهمات المنفصلة من المعلومات ومن بتات اختبار التعادلية في مجمل وزن هامنغ لكلمات الشفرة، وتوفر بالتالي معلومات إضافية عن البيانات العامة لوزن (هامنغ) للشفرة.

وباستعمال الشفرة أعلاه، يمكن وضع الحد الأعلى لاحتمال الخطأ في البتات (BEP) وP_b كما يلي:

$$P_b \le \sum_{m=d_{min}}^{\infty} D_m P(R''_m | C_0) \tag{15}$$

حيث d_{min} هي المسافة الدنيا للشفرة، و $P(R''_m|C_0)$ هو احتمال انتقاء مفكك الشفرة لكلمة الشفرة ذات الوزن m، شريطة أن تكون كلمة الشفرة المرسَلة مؤلفة من شفرة كلها أصفار، وما يلي:

$$D_m = \sum_{j+w=m} \frac{w}{k} A_{w,j} \tag{16}$$

ولذلك، فإن متوسط عدد البتات في حشد α سيكون القيمة المتوسطة لوزن هامنغ w، مما يؤدي إلى:

$$\overline{w} = \sum_{m=d_{min}}^{\infty} \sum_{m=w+j} w A_{w,j} P_m \tag{17}$$

حيث P_m هو احتمال أحداث الخطأ بعدد m من الأخطاء في جميع أحداث الخطأ. ولأن P_m يتناقص بسرعة مع m، فيمكن تقريبه بـــ $\overline{w}$، لا سيما في القيم المنخفضة لاحتمال الخطأ في البتات (BEP)،

$$\overline{w} \approx \sum_{d_{min}=w+j} w \; A_{w,j} P_{d_{min}} \tag{18}$$

2.3 عوامل في شفرات بوس وشودري وهوكنجهام (BCH) الاثنينية

باستعمال المعادلة (19)، يمكن تقدير قيم α لشفرات BCH المنهجية. ويبين الجدول 5 توزيع وزن شفرة BCH (7,4)، والمسافة الدنيا لشفرة (7,4) هي 3. ومن ثم، يمكن تقدير α للشفرة على النحو التالي:

$$\overline{w}_{(7,4)} = \alpha_{(7,4)} \approx 1 \times \frac{3}{7} + 2 \times \frac{3}{7} + 3 \times \frac{1}{7} \cong 1.7 \tag{19}$$

الجـــدول 5

توزيع وزن شفرة BCH (7,4)

$A_{w,j}$	j	w
1	0	0
3	2	1
1	3	1
3	1	2
3	2	2
1	0	3
3	1	3
1	3	4

ويبين الجدول 6 القيمة المقدرة لعامل α لمختلف شفرات BCH المنهجية، ويقارن الجدول 7 نتائج المحاكاة لشفرة BCH (15,11) مع النتائج المقدرة. وكلما تدنى معدل الخطأ في البتات (BER)، اقتربت القيمة المقدرة من قيمة المحاكاة.

أما في الشفرات غير المنهجية، يكون زهاء نصف كلمة المعلومات خاطئاً عند فشل فك التشفير. وفي هذه الحالة، يمكن تقريب α إلى $k/2$.

الجـــدول 6

القيمة المقدرة النظرية لعامل α لمختلف شفرات BCH

α	الشفرة المختزلة (n,k)	α	الشفرة الموسعة (n,k)	α	شفرة (n,k) BCH
2,67	(15,10)	2,75	(16,11)	2,20	(15,11)
3,23	(31,25)	3,25	(32,26)	2,52	(31,26)
4,53	(31,20)	4,56	(32,21)	3,73	(31,21)
2,96	(63,56)	2,96	(64,57)	2,06	(63,57)
		4,50	(64,51)	4,07	(63,51)

الجـــدول 7

مقارنة القيم النظرية والمحاكاة لعامل α لشفرة BCH (15,11)

BER	α المحاكى	α النظري
$2{,}88 \times 10^{-2}$	2,60	2,2
$4{,}69 \times 10^{-3}$	2,37	
$5{,}57 \times 10^{-4}$	2,36	
$2{,}36 \times 10^{-5}$	2,33	

3.3 عوامل في الشفرات التلافيفية

يمكن تطبيق نهج مماثل على الشفرات التلافيفية. ففي الشفرات التلافيفية المعروفة، حددت دراسات مختلفة توزيعات وزنها بدلالة عدد كلمات الشفرة، a_d، في المسافة d، ومجموع أخطاء البتات (وزن خطأ المعلومات) c_d في كلمات شفرة المسافة d. وعلى غرار التقريب إلى شفرات BCH الاثنينية، ($\alpha=$) $\overline{w}$، يمكن تقريب الشفرات التلافيفية إلى $(c_{d_f})/(a_{d_f})$، حيث d_f هي المسافة الحرة للشفرة.

ويبين الجدول 8 توزيعات وزن الشفرات التلافيفية الشائعة، بينما يقارن الجدول 9 القيم المقدرة نظرياً والمحاكاة لعامل α. وكما تأكد في شفرات BCH الاثنينية، فإن القيم المقدرة لعامل α تكاد تتساوى مع القيم المحاكاة عند تدني مدى معدل الخطأ في البتات (BER).

الجـــدول 8

توزيع وزن الشفرات التلافيفية

معدل الشفرة R	طول القيد K	المولد (ثماني)	d_f	$(a_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \ldots)$ $(c_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \ldots)$
1/2	7	133, 171	10	(11, 0, 38, 0, 193, 0, 1 331, 0, 7 275, ...) (36, 0, 211, 0, 1 404, 0, 11 633, ...)
	9	561, 753	12	(11, 0, 50, 0, 286, 0, 1 630, 0, 9 639, ...) (33, 0, 281, 0, 2 179, 0, 15 035, ...)
2/3[1]	7	133, 171	6	(1, 16, 48, 158, 642, 2 435, 9 174 ...) (3, 70, 285, 1 276, 6 160, 27 128, ...)
7/8[1]	7	133, 171	3	(2, 42, 468, 4 939, 52 821 ...) (14, 389, 6 792, 97 243, 1 317 944 ...)

[1] شفرات متقطعة من شفرة R 1/2 مع $K = 7$

4.3 عوامل في الشفرات السلسالية

في شفرة سلسالية ذات شفرة ريد–سولومون (RS) خارجية وشفرة تلافيفية داخلية، تتصل قيمة α مباشرة بتوزيع وزن شفرة RS لأن شفرة RS هي الشفرة الخارجية. ويمكن الحصول على قيمة α في شفرات RS باتباع نفس القاعدة المستعملة في شفرة BCH الاثنينية، إذا ما استُعمل الترجيح الأقصى لفك التشفير. في هذه الحالة، ينبغي العثور على توزيع الوزن الاثنيني لشفرات RS.

الجـــدول 9

مقارنة بين القيم النظرية والمحاكاة لعامل α في الشفرات التلافيفية

معدل الشفرة R	طول القيد K	المولد (ثماني)	d_f	α (المقدر)	BER	α (المحاكى)
1/2	7	133, 171	10	3,27	$1{,}74 \times 10^{-2}$	7,21
					1.91×10^{-3}	5,68
					$1{,}05 \times 10^{-4}$	3,74
					$5{,}05 \times 10^{-6}$	3,48
					$1{,}07 \times 10^{-7}$	3,00
	9	561, 753	12	3,00	$2{,}22 \times 10^{-2}$	13,00
					$1{,}77 \times 10^{-3}$	11,56
					$2{,}10 \times 10^{-5}$	4,38
					$4{,}20 \times 10^{-7}$	3,96
2/3	7	133, 171	6	3,00	$3{,}61 \times 10^{-2}$	8,00
					$7{,}86 \times 10^{-4}$	7,14
					$2{,}96 \times 10^{-6}$	5,32
					$2{,}14 \times 10^{-7}$	5,67
7/8	7	133, 171	3	7,00	$2{,}24 \times 10^{-2}$	9,08
					$2{,}68 \times 10^{-2}$	8,85
					$9{,}82 \times 10^{-3}$	7,77
					$1{,}77 \times 10^{-5}$	7,57
					$1{,}49 \times 10^{-6}$	7,29

يبين الجدول 10 قيم α المحاكاة لشفرات RS في خطة التشفير السلسالية الموصّفة في توصيتي قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R BO.1724 وITU-R S.1709. وتُستعمل شفرة RS (204,188) المختصرة من شفرة RS (255,239) الأصلية. كما تُستعمل شفرة RS (71,55) المختصرة لحجم رزمة مختلف.

الجـــدول 10

قيم α المحاكاة لشفرات RS في خطة التشفير السلسالية

شفرة RS (n,k)	BER	α	شفرة RS (n,k)	BER	α
(204,188)	$7{,}74 \times 10^{-3}$	12,80	(71,55)	$6{,}17 \times 10^{-3}$	8,47
	$5{,}19 \times 10^{-4}$	9,14		$2{,}03 \times 10^{-4}$	7,74
	$1{,}02 \times 10^{-6}$	8,58		$2{,}02 \times 10^{-7}$	7,32

5.3 عوامل في الشفرات التوربينية

في الشفرات التوربينية، يمكن انتهاج نهج مماثل للشفرات التلافيفية لأن الشفرات التوربينية قائمة على الشفرات التلافيفية. ويبين الجدول 11 توزيعات الوزن للشفرات التوربينية الموصّفة في توصيتي قطاع الاتصالات الراديوية ITU-R BO.1724 وITU-R S.1709، ويبيّن الجدول 12 ما يقابلها من قيم α المقدرة. ويبين الجدول 13 قيم α المحاكاة لرزمة بحجم 53 بايتة. وبما أن الشفرات التوربينية تستعمل خوارزمية فك تشفير تكرارية، فإن قيم α ومعدل الخطأ في البتات (BER) يعتمدان على خوارزمية فك التشفير وعدد التكرارات. وفي المحاكاة، استُعملت خوارزمية فك التشفير المعروفة باسم max-log MAP

وقُدرت قيم α بتكرارات 6 و15. ولأن القيم النظرية المقدرة في الجدول 14 يمكن اعتبارها حداً أدنى، فهي أصغر من القيم المحاكاة في الجدول 15.

الجـــدول 11

توزيع وزن الشفرات التوربينية (*df/ad/cd*)

حجم الرزمة (بايتات)	***R* = 1/3**	***R* = 1/2**	***R* = 2/3**	***R* = 3/4**	***R* = 6/7**
53	31/106/954	18/159/954	11/159/901	7/10/50	4/9/27
	32/265/1643	19/159/1431	12/265/1325	8/85/375	5/194/719
	33/106/901	20/530/3551	13/1802/11342	9/486/2335	6/1228/5371
188	33/3476/3384	19/376/3384	12/188/1316	9/27/171	6/199/826
	35/376/3760	20/376/3008	14/752/5264	10/148/1025	7/1578/7269
	36/752/6392	22/752/6768	15/1504/12220	11/1462/9674	8/9144/49558

الجـــدول 12

قيم α المقرّبة نظرياً في الشفرات التوربينية

حجم الرزمة (بايتات)	***R* = 1/3**	***R* = 1/2**	***R* = 2/3**	***R* = 3/4**	***R* = 6/7**
53	9,00	6,00	5,67	5,00	3,00
	6,20	9,00	5,00	4,41	3,70
	8,50	6,70	6,29	4,80	4,37
752	9,00	9,00	7,00	6,33	4,15
	10,00	8,00	7,00	6,93	4,60
	8,50	9,00	8,13	6,62	5,42

الجـــدول 13

قيم α المحاكاة في الشفرات التوربينية

رقم التكرار	***R* = 1/3 BER/α**	***R* = 2/5 BER/α**	***R* = 1/2 BER/α**	***R* = 3/4 BER/α**	***R* = 6/7 BER/α**
6	$10 \times 5,58/16,8^{-5}$	$10 \times 3,79/16,6^{-5}$	$10 \times 1,39/21,5^{-4}$	$10 \times 9,53/15,9^{-4}$	$10 \times 3,44/6,8^{-5}$
	$10 \times 9,28/14,0^{-6}$	$10\times 5,56/12,8^{-6}$	$10 \times 2,24/17,1^{-5}$	$10 \times 3,47/11,3^{-5}$	$10 \times 2,34/5,2^{-6}$
	$10 \times 1,42/10,6^{-6}$	$10 \times 9,68/10,6^{-7}$	$10 \times 5,69/9,0^{-7}$	$10 \times 9,89/7,8^{-7}$	$10 \times 2,53/4,1^{-7}$
15	$10 \times 2,25/23,7^{-5}$	$10 \times 1,57/20,8^{-5}$	$10 \times 6,36/26,6^{-5}$	$10 \times 6,46/18,3^{-4}$	$10 \times 2,67 /7,0^{-5}$
	$10 \times 3,28/16,5^{-6}$	$10 \times 2,41/14,5^{-6}$	$10 \times 9,30/18,9^{-6}$	$10 \times 1,89/12,2^{-5}$	$10 \times 1,74/4,8^{-6}$
	$10 \times 5,62/11,6^{-7}$	$10 \times 4,25/10,8^{-7}$	$10 \times 3,02/8,9^{-7}$	$10 \times 6,02/7,9^{-7}$	$10 \times 1,78/4,3^{-7}$

6.3 عوامل في الشفرات التوربينية الفدرية

الشفرات التوربينية الفدرية (BTC) هي شفرات جدائية يُفك تشفيرها تكرارياً. والمسافة الدنيا للشفرة الجدائية هي ناتج ضرب المسافات الدنيا للشفرات المكونة لها. فعلى سبيل المثال، المسافة الدنيا لشفرة جدائية عدد أبعادها m بنفس الشفرة المكونة ذات المسافة الدنيا d_{min} ستكون $(d_{min})^m$. وباتباع المبدأ نفسه، يمكن تمثيل قيمة α من أجل BTC α_{BTC} على النحو التالي:

$$\alpha_{BTC} = \alpha_{c_1} \cdot \alpha_{c_2} \cdots \alpha_{c_m} \tag{20}$$

حيث α_{c_i} هي قيمة الشفرة المكونة ذات الترتيب i. وتُستعمل عادةً الشفرات المنهجية الاثنينية المبينة في الفقرة 2.3.

ويبين الجدول 14 قيم α_{BTC} المقدرة نظرياً باستعمال المعادلة (20)، حيث تُفترض في الشفرة التوربينية الفدرية نفس الشفرات المكونة المستعملة سابقاً. لذلك، فإن قيم α_c هي كالقيم في الجدول 6. ويقارن الجدولان 15 و16 القيم المقدرة نظرياً والقيم المحاكاة للشفرات التوربينية الفدرية (BTC) ثنائية الأبعاد. وكما تأكد في الفقرتين 2.3 و3.3، فإن القيم المقدرة تكاد تتساوى مع القيم المحاكاة عند تدني مدى معدل الخطأ في البتات (BER).

الجـــدول 14

القيم المقرّبة نظرياً في الشفرات التوربينية الفدرية

الشفرة الموسعة (n,k)	d_{min}	α_c	ثنائية الأبعاد α_{BTC}	ثلاثية الأبعاد α_{BTC}
(16,11)	4	2,75	7,56	20,80
(32,26)	4	3,25	10,56	34,33
(32,21)	6	4,56	20,79	94,82
(64,57)	4	2,96	8,76	25,93
(64,51)	6	4,50	20,25	91,13

الجـــدول 15

مقارنة بين قيم α النظرية والمحاكاة في الشفرة التوربينية الفدرية (16,11) × (16,11)

E_b/N_0 (dB)	BER	α_{BTC}	الشفرة المكونة	
			BER	α_c
1,0	$4,41 \times 10^{-2}$	14,50	$1,25 \times 10^{-1}$	2,82
2,0	$3,43 \times 10^{-3}$	10,35	$7,82 \times 10^{-2}$	2,88
2,5	$4,42 \times 10^{-4}$	7,46	$5,97 \times 10^{-2}$	2,52
3,0	$8,30 \times 10^{-5}$	7,25	$4,31 \times 10^{-2}$	2,82
3,5	8.51×10^{-6}	7,31	$2,97 \times 10^{-2}$	2,99

الجـــدول 16

مقارنة بين قيم α النظرية والمحاكاة في الشفرة التوربينية الفدرية (32,26) × (32,26)

الشفرة المكونة		α_{BTC}	BER	E_b/N_0 (dB)
α_c	BER			
3,88	$5,96 \times 10^{-2}$	31,57	$4,19 \times 10^{-3}$	2,0
3,33	$3,10 \times 10^{-2}$	11,21	$7,801 \times 10^{-6}$	3,0
3,15	$2,35 \times 10^{-2}$	9,76	$2,10 \times 10^{-6}$	3,3

7.3 نتائج القياس الأخرى وملخص

إن القياسات المختبرية للإرسالات الرقمية من نمط معدل البيانات الوسطي (IDR) لساتل INTELSAT (FEC *R* = 3/4 مع مخلّط) أفرزت α = 10 على مدى معدل الخطأ في البتات (BER) من 1×10^{-4} إلى 1×10^{-11}. وحُددت قيمة α = 5 في القياسات نفسها للإرسالات الرقمية من نمط الخدمات التجارية (IBS) لساتل INTELSAT (FEC *R* = 1/2 مع مخلّط).

ويظهر من النتائج التي جرى استقصاؤها أن المعلمة α هي دالة لتوزيع وزن خطة التصحيح المسبق للخطأ (FEC) ومعدل الخطأ في البتات. ويمكن تقييم أثر المعلمة α على نموذج الأداء كما يلي.

وقد أُنتجت الأقنعة في الشكل 2 باستعمال α = 10. ففي حال عدم استعمال التصحيح المسبق للخطأ (FEC)/المخلّط (α = 1) مثلاً، ستنزاح النماذج بمقدار عشرة واحدة مما يجعل من متطلبات معدل الخطأ في البتات أكثر تشدداً بعشرة أمثال.

4 الاستنتاجات

أظهرت الدراسات أن الأقنعة اللازمة لتلبية متطلبات توصية قطاع تقييس الاتصالات ITU-T G.828 تعتمد على معدل الإرسال.

كما تعتمد أقنعة التصميم على توزيع الخطأ الذي يتأثر بدوره بالخطة المستعملة للتصحيح المسبق للخطأ (FEC)/المخلّط.

ويجب أيضاً أن تؤخذ متطلبات الخدمة في الاعتبار لدى اشتقاق أقنعة التصميم.

5 قائمة المختصرات

ATM أسلوب النقل غير المتزامن (*Asynchronous transfer mode*)

BBE خطأ خلفية الفدرة (*Background block error*)

BBER نسبة خطأ خلفية الفدرة (*Background block error ratio*)

BEP احتمال الخطأ في البتات (*Bit error probability*)

BER معدل الخطأ في البتات (*Bit error ratio*)

BIP تعادلية تشذير البتات (*Bit interleaved parity*)

BTC الشفرة التوربينية الفدرية (*Block turbo code*)

CSES حدث الثواني المتعاقبة شديدة الخطأ (*Consecutive severely errored second*)

EB فدرة مشوبة بالخطأ (*Errored block*)

EDC شفرة كشف الخطأ (*Error detection code*)

ES ثانية مشوبة بالخطأ (*Errored second*)

ESR نسبة الثواني المشوبة بالخطأ (*Errored second ratio*)

FEC التصحيح المسبق للخطأ (*Forward error-correction*)

FSS الخدمة الثابتة الساتلية (*Fixed-satellite service*)

HRDP مسير مرجعي افتراضي (*Hypothetical reference digital path*)

HRP مسير رقمي مرجعي افتراضي (*Hypothetical reference path*)

IPI خطأ تفسيرات المؤشر (*Incorrect pointer interpretations*)

SDH التراتب الرقمي المتزامن (*Synchronous digital hierarchy*)

SEP فترة شديدة الخطأ (*Severely errored period*)

SEPI كثافة الفترات شديدة الخطأ (*Severely errored period intensity*)

SES ثانية شديدة الخطأ (*Severely errored second*)

SESR نسبة الثواني شديدة الخطأ (*Severely errored seconds ratio*)

STM وحدة النقل المتزامن (*Synchronous transfer module*)

TC توصيل رديف (*Tandem connection*)

VC حاوية افتراضية (*Tandem connection*)