التوصية ITU-R S.614-4

أداء الأخطاء المسموح به في مسير رقمي افتراضي مرجعي من الخدمة الثابتة الساتلية يعمل تحت 15 GHz ويشكل جزءاً من توصيل دولي في شبكة رقمية متكاملة الخدمات*

(2005-1994-1992-1990-1986)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن مفهوم الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات (ISDN) قد عرفه القطاع تقييس الاتصالات؛

ب) أن السواتل العاملة في الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) سوف تلعب دوراً مهماً في تعميم مفهوم الشبكة ISDN على التوصيلات الدولية؛

ج) أن أداءً مقبولاً من الأخطاء هو خاصية أساسية في أي نظام إرسال رقمي؛

د) أن قطاع تقييس الاتصالات قد حدد في التوصية G.821 أداء الأخطاء في توصيل رقمي دولي يشكل جزءاً من شبكة ISDN بمعدل 64 kbit/s؛

هـ) أن تكاليف تشغيل الأنظمة الساتلية للاتصالات الرقمية وصيانتها تتعلقان بأداء الأخطاء الإجمالي تعلقاً وثيقاً؛

و) أنه تجب مراعاة جميع آليات الأخطاء التي يمكن توقعها ولا سيما شروط الانتشار المتغيرة زمنياً والتداخل، من أجل تعريف مقاييس أداء الأخطاء،

وإذ تلاحظ

1 وجود مسمارات رقمية افتراضية مرجعية ساتلية (HRDP) ما تزال في التشغيل وكانت قد صممت مع مراعاة أهداف التوصية ITU-T G.821 بما فيها معلمة "الدقيقة المتدرجة" التي ألغيت فيما بعد في طبعة عام 1996 للتوصية ITU-T G.821.

توصي

1. فيما يتعلق بقيم معدل الخطأ في البتات (BER) (انظر الملاحظة 2) عند خرج مسير رقمي افتراضي مرجعي ساتلي (HRDP) يعمل تحت 15 GHz جزءاً من توصيل في الشبكة ISDN بمعدل قدره 64 kbit/s، بألا تتجاوز، أثناء وقت التيسر، القيم التالية:

1.1 1×10^{-7} خلال أكثر من 10% من شهر ما،

2.1 1×10^{-6} خلال أكثر من 2% من شهر ما،

3.1 1×10^{-3} خلال أكثر من 0,03% من شهر ما، (انظر الملاحظة 5)؛

---

* تحيل هذه النسخة من التوصية إلى مشروع التوصية ITU-T G.821 الذي أُعد قبل 1996 عندما ألغيت معلمة الدقيقة المتدرجة. وينبغي أن تستند جميع تصاميم الأنظمة الساتلية اللاحقة إلى أحدث طبعة للتوصية ITU-R S.1062.

2. أن تعتبر الملاحظات التالية جزءاً من هذه التوصية.

الملاحظة 1 – حددت مواصفات الفقرة 1 من خلال تطبيق الطريقة الموصوفة في الملحق 1. وهي كافية لتحقيق أهداف أداء الأخطاء الموصى بها في التوصية ITU-T G.821 بالنسبة إلى مسير HRDP من الخدمة الثابتة الساتلية (FSS) في كل ظروف التشغيل المتوقعة. أما التوزيع الذي أوصى به القطاع ITU-T بالنسبة إلى مسير HRDP من الخدمة FSS والذي يعتبر مطبقاً على الوقت المتيسر خلال فترة تصل إلى حوالي شهر ما، فهو كالتالي:

- يمكن أن تكون نسبة الخطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-6} في أقل من 2% من الفواصل الزمنية البالغة دقيقة واحدة،
- يمكن أن تكون نسبة الخطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-3} في أقل من 0,03% من الفواصل الزمنية البالغة ثانية واحدة،
- يمكن أن يحتوي أقل من 1,6% من فواصل الثانية على أخطاء.

الملاحظة 2 – تقاس معدلات الخطأ في البتات المحدثة في الفقرة 1 أثناء فترة طويلة من الزمن تكفي لإعطاء تقدير جيد عن احتمال الخطأ في البتات (انظر الملحق 1).

الملاحظة 3 – حددت معدلات الخطأ في البتات (BER) المبينة في هذه التوصية بناء على الفرضية التي تنص على أن المساهمات في الثواني شديدة الأخطاء تنتج عن آليتين مختلفتين تولدان الأخطاء: إحداهما تلك التي تحدث عشوائياً، والأخرى تلك التي تحدث على شكل رشقات. وتحمل الأخطاء في غالب الأحيان طابعاً عشوائياً وهي محدثة بمواصفات الفقرتين 1.1 و2.1. أما الثواني شديدة الأخطاء، فتستثنى من قياسات الأخطاء العشوائية المحققة من أجل التحقق من مواصفات الفقرتين 1.1 و2.1. ولكنها تبقى متضمنة في مواصفات الفقرة 3.1 (انظر الملحق 1).

الملاحظة 4 – يوفر معدل الأخطاء BER المحدد في الفقرة 1 هامشاً لبعض رزم الأخطاء التي قد تنتج عن مصادر مذكورة في الملحق 1.

الملاحظة 5 – تتعلق قيمة 0,03% من شهر ما بالمعدل BER المقيس خلال وقت التيسر. ويتحقق هذا الهدف عندما يستجيب تصميم نظام ساتلي لهدف في عدم التيسر قدره 0,2% من الشهر الأسوأ (الوقت الإجمالي). وقد يقابل عامل تيسر قدره 10% (نسبة وقت التيسر إلى الوقت الإجمالي الذي يفوق المعدل BER في أثنائه قيمة 10^{-3} نسبة 0,02% من وقت التيسر لشهر ما.

ويجب التحسب إضافة إلى ذلك، لنسبة مسموح بها قدرها 0,01% من الشهر الأسوأ وذلك من أجل مراعاة المساهمات في الثواني شديدة الأخطاء والتي تحدث عندما يقل المعدل BER عن 10^{-3}. ويؤدي مجموع هاتين النسبتين المسموح بهما إلى هدف كلي للأداء قدره 0,03% من وقت التيسر في الشهر الأسوأ (انظر الملحق 1).

الملاحظة 6 – تحدد مواصفات المسير الرقمي الافتراضي المرجعي (HRDP) المذكور في هذه التوصية، في التوصية ITU-R S.521.

الملاحظة 7 – قد يكون من الضروري في المستقبل التحسب لقيم خاصة فيما يتعلق بأداء الوصلات ما بين السواتل. ويجب أن تشكل هذه القيم موضوعاً لدراسة تكميلية.

الملاحظة 8 – لا تطبق التوصية إلا عند اعتبار النظام متيسراً وفقاً لتعريف التوصية ITU-R S.579 ويشمل فترات من المعدلات BER العالية (أي التي تفـــوق 10^{-3}) تستمر في أثناء فترات مقابلة لأقل من 10 ثوان متتالية. وتعتبر الانقطاعات القصيرة (أقل من عشر ثوان) كما لو أنها مكافئة للحالة التي تتجاوز فيها قيمة المعدل BER 10^{-3}.

الملاحظة 9 – تصمم أهداف أداء الأخطاء المحددة في هذه التوصية من أجل الاستجابة للأداء من طرف إلى طرف المحدد لدارة مبدلة بمعدل 64 kbit/s من توصيل ISDN مطابق للتوصية ITU-T G.821. وتعرض التوصية ITU-R S.522 أهداف الأداء الخاصة بأنظمة ساتلية للمهاتفة المشفرة PCM في توصيل لا ينتمي إلى شبكة ISDN. ويمكن استعمال التوصية ITU-R S.614 في تصميم الأنظمة الساتلية التي تسير أشكالاً أخرى من المعلومات الرقمية مثل المعطيات في النطاق الصوتي (كالطبصلة) أو الكلام بتشفير منخفض المعدل (LRE) (أقل من 64 kbit/s)، إلى أن تستكمل الدراسات الخاصة بهذا الموضوع والتي قد تؤدي إلى تحديد أهداف محسنة للأداء.

الملاحظة 10 – لا تعتبر أهداف المعدلات BER المشار إليها في الفقرة 1 فريدة في استجابتها لأهداف الأداء المطلوبة الواردة في التوصية ITU-T G.821. ويستطيع المصمم استعمال أقنعة مختلفة للمعدلات BER عندما تدعو الحاجة لذلك طالما أن هذه الأقنعة تطابق أحكام التوصية ITU-T G.821. ويعرض الملحق 1 أمثلة عن أقنعة بديلة.

الملاحظة 11 – يستحسن تخطيط الأنظمة بناء على تغطية معطيات الانتشار لفترة تمتد إلى 4 سنوات على الأقل. وينبغي تحديد الأداء الموصى بتحقيقه في ''أي شهر''، بناء على معطيات الانتشار المقابلة لمتوسط ''أسوأ شهر من السنة''. وتحدد هذه القيمة الأخيرة استناداً إلى الإحصائيات الشهرية لكل السنوات التي توفرت في أثنائها معطيات تُعتمد.

الملاحظة 12 – حدد أداء الأخطاء المذكور في الفقرة 1 بناء على استعمال المسير HRDP في قسم التوصيل الافتراضي المرجعي (HRX) ''عالي الجودة''(انظر التوصية ITU-T G.821). وثمة تطبيقات أخرى ممكنة للمسير HRDP في التوصيل HRX. ويمكن ضبط أهداف أداء الأخطاء وفقاً لها.

الملاحظة 13 – قد يتبين، أن التقيد بالقيم المذكورة في الفقرة 1 من أجل أنظمة تشغل تحت تردد 10 GHz، يتطلب استخدام استراتيجيات وتقنيات تعويضية توفر لها التوصية ITU-R S.1061 التوجيهات الأساسية.

الملاحظة 14 – يصف الملحق 1 طريقة لقياس المعدلات BER وفقاً للنسبة المئوية من الوقت.

الملحق 1

خصائص مسير رقمي افتراضي مرجعي في الخدمة الثابتة الساتلية يشكل جزءاً من شبكة رقمية متكاملة الخدمات

1 مقدمة

يعالج الملحق أهداف الأداء التي يجب أن يحققها مسير HRDP من الخدمة FSS عندما يشكل جزءاً من توصيل افتراضي مرجعي (HRX) داخل شبكة ISDN. ويعرف التوصيل HRX التابع للشبكة ISDN في حالة توصيل بتبديل الدارات ومعدل قدره 64 kbit/s، في التوصية ITU-T G.821 (CCITT الكتاب الأزرق، 1988، الكتيب III.3) التي تصف الدارات ضمن ثلاث فئات جودة محلية للأداء وجودة متوسطة، وجودة عالية. وتعتبر الدارات الدولية الساتلية جزءاً من القسم ذي أداء عالي الجودة.

ويعرض في الأقسام التالية من هذا الملحق توزيع أهداف الأداء الإجمالية، بالنسبة إلى التوصيل HRX للشبكة ISDN في الخدمة FSS، وتأثير هذا التوزيع في تصميم أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية.

2 قنوات ساتلية بمعدل 64 kbit/s تشكل جزءاً من المسير HRX في الشبكة ISDN

1.2 مواصفات الأداء للمسير الافتراضي المرجعي HRDP في الخدمة FSS

1.1.2 أهداف الأداء فيما يتعلق بأخطاء الأنظمة الساتلية

يوصف أداء الأنظمة الساتلية عادة، وفقاً لاحتمال الخطأ في البتات. بينما تتعرف التوصية ITU-T G.821 إلى فواصل زمنية تقتضي وجود معدل مميز من الأخطاء في أثناء نسب مئوية معينة من الزمن تحدد على مدى فترة طويلة تصل إلى حوالي الشهر. وتصف هذه الفقرة الطريقة التي استعملت من أجل تحويل مواصفات القطاع ITU-T أي شكل أهداف للأداء المستعمل في الأنظمة الساتلية، وتعطي مواصفات أداء المسير HRDP الناتجة عن تطبيق هذه الطريقة على القيم المذكورة في التوصية ITU-T G.821.

ولقد جرى تمييز دقيق في هذا الملحق بين احتمال الخطأ في البتات (BEP) ومعدل الخطأ في البتات (BER). ويعتبر احتمال الخطأ في البتات الذي استعمل في الفقرات التالية استعمالاً واسعاً، بمثابة كمية مجردة مستخدمة للتعبير عن الأداء النظري لتجهيز خاص بإرسال المعطيات. وأن المعدل BER كمية يمكن قياسها مباشرة (أي الأخطاء في البتات إلى البتات المرسلة). ويمكن من خلال إجراء عدد كافٍ من القياسات تتوفر مدة كافية لكل قياس منها أن يحدد احتمال الخطأ BEP بالدقة المرجوة.

وتكمن الطريقة المستخدمة في هذا الملحق في الافتراض بأن أداء وصلة النظام الساتلي (بمعدل 64 kbit/s محدد بآليات ذات طبيعة عشوائية في أساسها، ويمكن تحليلها بواسطة مقاربة "بواسون"(Poisson) أو بواسطة مقاربة تسمح بحساب احتمال مواجهة عدد معين من الأخطاء أثناء فاصل زمني محدد ومع احتمال معين للأخطاء في البتات. وينبغي أيضاً لمصممي النظام أن يحذروا في التطبيق العملي من أن هناك رزماً من الأخطاء قد لا تكشف في هذه الطريقة (تصف الفقرة 2.2 بعض الآليات التي قد تولد هذا النمط من الرزم)، ويرصدون هوامش كافية لتغطية هذه التأثيرات.

وتعالج الفقرة 5 رزم الأخطاء العائدة إلى تقنيات تصحيح الأخطاء.

2.1.2 الشروط المحددة في التوصية ITU-T G.821

يلخص الجدول 1 أهداف الأداء من طرف إلى طرف المبينة في التوصية ITU-T G.821 والأهداف الخاصة بالمسير الساتلي HRDP، وتحدد، بالنسبة إلى كل تصنيف للأداء شروط الأداء الإجمالي من طرف إلى طرف والشروط المفروضة على مسير ساتلي HRDP.

3.1.2 نماذج احتمال الخطأ في البتات BEP اللازمة للاستجابة لأحكام التوصية ITU-T G.821

تصف الفقرة 3 الطريقة التي تسمح بتحليل احتمال الخطأ BEP بدلالة نسبة التوزيع الزمني المئوية، ووفقاً للمعلمات المذكورة في الجدول 1. وقد أصبح من الممكن عن طريق تطبيق هذا الإجراء، اشتقاق عدد معين من التوزيعات أو النماذج ترتكز على الخصائص العامة للأنظمة الساتلية وتستجيب للأهداف المذكورة في التوصية ITU-T G.821، أو تتجاوزها.

لخص في هذا الملحق نموذج واحد فقط من بين النماذج المذكورة في الفقرة 3. ويحقق هذا النموذج تسوية فيما بين متطلبات الأنظمة المحدثة بالانتشار والتي تعمل فوق 10 GHz متطلبات الأنظمة المحدودة بالتداخل والتي تعمل تحت 10 GHz. ويمكن الاستجابة للشروط المقابلة من خلال الأنظمة الساتلية كبيرة السعة والمحققة وفقاً للتقنيات الحالية.

ويأخذ احتمال الخطأ BEP في هذا النموذج القيم التالية التي تشير إليها نقاط قطع المنحنى المبين في الشكل 3:

- $BEP = 1 \times 10^{-7}$ في أثناء 90% من الشهر الأسوأ،
- $BEP = 1 \times 10^{-6}$ في أثناء 98% من الشهر الأسوأ.

ويلخص أداء هذا النموذج في الجدول 2 بمصطلحات الدقائق المنحطة والثواني الخاطئة والثواني شديدة الأخطاء. ويحدد هذا الأداء بدلالة الوقت الإجمالي والوقت المتيسر، الأمر الذي يبين العلاقة القائمة بين حسابات تصميم الأنظمة وأهداف التوصية ITU-T G.821.

الجدول 1

أهداف الأداء الإجمالي من طرف إلى طرف والأهداف الخاصة بمسير ساتلي HRDP في حالة توصيلات دولية ISDN

	الهدف الإجمالي من طرف إلى طرف (الملاحظة 4)	الهدف لاتصال HRDP ساتلي (الملاحظة 4)
(أ) (دقائق منحطة) (الملاحظتان 1 و2)	أقل من 10% من فواصل بدقيقة واحدة وذات معدل خطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-6} (الملاحظة 3)	أقل من 2% من فواصل بدقيقة واحدة وذات معدل خطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-6} (الملاحظة 4)
(ب) (ثوان شديدة الأخطاء) (الملاحظة 1)	أقل من 0,2% من فواصل بثانية واحدة وذات معدل خطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-3}	أقل من 0,03% من فواصل بثانية واحدة وذات معدل خطأ في البتات أسوأ من 1×10^{-3}
(ج) (ثوان خاطئة) (الملاحظة 1)	أقل من 8% من فواصل بثانية واحدة تحتوي على أخطاء (يوازي 92% من ثوان خالية من الأخطاء)	أقل من 1,6% من فواصل بثانية واحدة تحتوي على أخطاء (يوازي 98,4% من ثوان خالية من الأخطاء)

الملاحظة 1 – تستعمل عبارات ''الدقائق المنحطة''و''الثواني شديدة الأخطاء''، و''الثواني الخاطئة''باعتبارها معرفاً لهدف الأداء عملياً وموجزاً. ولا تعني أن هذه السوية من الأداء مقبولة. أو غير مقبولة.

الملاحظة 2 – يتم الحصول على فواصل الدقيقة الواحدة المذكورة أعلاه، من خلال طرح وقت عدم التيسر والثواني شديدة الأخطاء من الوقت الإجمالي، ومن ثم يصار إلى تجميع الأخطاء المتبقية إلى فدر من 60.

الملاحظة 3 – لا تعتبر الدقيقة منحطة حين تكون بمعدل 64 kbit/s وتحتوي على أربعة أخطاء (توازي معدلاً للخطأ بقدر $1{,}04 \times 10^{-6}$)، وذلك لأسباب عملية. وهذا لا يعني وجوب التخلي عن هدف لمعدل الأخطاء يساوي 1×10^{-6}.

الملاحظة 4 – يعبر عن أهداف الأداء الإجمالي من طرف إلى طرف والأهداف الخاصة بالمسير الساتلي HRDP، بالوقت المتيسر (انظر الفقرة 5.1.2).

وقدرت نقطة القطع قصيرة الأجل (انظر الملاحظة 1) (أي احتمال BEP يساوي 10–3) المستعملة في هذه النماذج بنسبة 0,2% من الشهر (الوقت الكلي) مع عامل تيسر للانتشار يساوي 10% (انظر الفقرة 5.1.2 والفقرة 3).

الملاحظة 1 – تشير العبارة ''قصيرة الأجل''إلى الفترة الزمنية التي يواجه أثناءها القسم الساتلي من التوصيل أداء شديد الانحطاط (أي أداء للأخطاء $> 1 \times 10^{-3}$). أما عبارة ''طويلة الأجل''، فتشير إلى الفترة الزمنية التي لا يواجه أثناءها القسم الساتلي من التوصيل انحطاطاً في الأداء (أي أداء للأخطاء $\geq 1{,}0 \times 10^{-6}$).

الجدول 2

الأهداف	الأداء	
	(%) من الوقت الإجمالي	(%) من الوقت المتيسر
دقائق منحطة	2,05	1,87
ثوان خاطئة	1,74	1,56
ثوان شديدة الأخطاء	0,204	0,024

4.1.2 اعتبارات تتعلق بالإرسال الساتلي

يتعلق أداء وصلة إرسال رقمي ساتلي بسلسلة من العوامل. ويعتبر أحد هذه العوامل، وهو تأثير اضطرابات الانتشار على الإرسال، ذات دلالة كبيرة. ويمكن من خلال استعمال الطرائق التي وضعتها لجنة الدراسات 3 (لجنة الدراسات 5، سابقاً) التنبؤ بتأثيرات اضطرابات الانتشار على أداء الإرسال الرقمي.

يعرض القسم 4 نتائج الحسابات التي تقارن الأداء فيما بين ثلاث أنظمة رقمية ساتلية دولية مختلفة في احتمال الخطأ BEP على المدى القصير، بدلالة الوقت، وبالنسبة إلى الأنظمة الفعلية. ويبين الشكل 4 حدود الأداء المتضمنة في مختلف النماذج.

يجب الإشارة إلى أن في المستطاع أن يصمم أداء قناة الإرسال الرقمي الساتلي تصميماً يستجيب لجميع مواصفات الأداء تقريباً. بيد أن استعمال تصحيح الخطأ الأمامي أو التحكم في القدرة أو اختلاف المواقع قد يحسن أداء النظام تحسناً ملموساً. ولكنه يؤدي في المقابل إلى سلبيات مهمة تتمثل في انخفاض السعة أو تزايد الكلفة. لذا يتوجب تقديم تسويغ مناسب من أجل استعمال هذه التقنيات.

وتقدر لجنة دراسات 4 للاتصالات الراديوية أن من الضروري متابعة الدراسات المتعلقة بتأثيرات اضطرابات الانتشار على أداء القناة الرقمية الساتلية وهي ترحب بالمعلومات الإضافية التي تقدم لها حول الموضوع.

5.1.2 التيسر والأداء بالثواني شديدة الأخطاء

كان يجب من أجل بناء نماذج للأداء قادرة على تحقيق مواصفات التوصية ITU-T G.821 والمذكورة في الفقرة 4 أن تؤخذ بعين الاعتبار النسبة المئوية من الزمن التي تعلن الوصلة أنها متيسرة خلالها. أما التعريف المقبول عموماً بالنسبة إلى وقت عدم التيسر فهو التالي:

تبدأ فترة عدم التيسر حين يكون المعدل BER في كل ثانية أسوأ من 1×10^{-3} وذلك في أثناء 10 ثوان متتالية. وتعتبر هذه الثواني العشر بمثابة وقت عدم تيسر. وتنتهي فترة عدم التيسر حين يصبح المعدل BER في كل ثانية أفضل من 1×10^{-3} في أثناء 10 ثوان متتالية. وتعتبر هذه الثواني العشر بمثابة وقت تيسر، كما أنها تؤخذ بعين الاعتبار عند تحديد هدف الأداء مع ثوان شديدة الأخطاء. وهذا لا يشكل المعدل BER إلا عاملاً من العوامل التي تساهم في وقت عدم التيسر الإجمالي. ولقد حددت التعريفات المتعلقة بالتيسر في التوصية ITU-T G.106.

تجب مراعاة مفهوم التيسر في تصميم وصلات للإرسال الساتلي تتعرض أحياناً لفترات توهين من جراء الهواطل تتجاوز هوامش النظام. وهذا هو الحال خاصة فيما يتعلق بالترددات التي تفوق 10 GHz وتمثل هذا الواقع في الدراسات حول الانتشار.

وتحتوي التوصية ITU-R S.579 تلخيصاً لقياسات الانتشار التي أظهرت توهينات للانتشار لا تؤدي إلى أوقات عدم تيسر. وتشير خلاصة هذه التوصية إلى أن 10% فقط من الوقت الإجمالي الذي قد يتسبب التوهين في أثنائه بمعدل BER أسوأ من 10^{-3}، يشكل فترات يمكن تعريفها بأنها ''أوقات تيسر'' وفقاً لمقياس القطاع ITU-T. أما الباقي فيتكون من فترات عدم تيسر. ويتضمن ذلك ''عامل تيسر للانتشار'' بنسبة 10%. فعلى سبيل المثال، إذا كان احتمال الخطأ BER بقيمة 1×10^{-3} أو أسوأ أثناء 0,2% من الوقت الإجمالي، فإن نسبة 10% فقط من هذا الوقت أو 0,02% تعتبر وقتاً متيسراً. وهذا ما يؤدي إلى مقياس للأداء ''قصير الأجل'' مع احتمال خطأ BEP بقيمة 1×10^{-3} أثناء 0,2% من الوقت الإجمالي.

تصف التوصية ITU-R S.579 أهداف عدم التيسر لمسير ساتلي HRDP مع مراعاة التجهيزات والانتشار. وتخصص مؤقتاً نسبة 0,2% من سنة، لهدف عدم تيسر التجهيزات، وتقترح قيمة تساوي 0,2% من الشهر الأسوأ لأداء عدم التيسر فيما يتعلق بالانتشار في HRDP.

وتحتوي التوصية ITU-R S.579 على نتائج القياسات الخاصة بأداء التيسر فيما يعود إلى الانتشار، وتبين هذه النتائج أن من الممكن لوقت عدم التيسر بالنسبة إلى ''عوامل تيسر'' منخفضة ومواضع ومناخات مختلفة أن يتجاوز 0,2% من الشهر في حالة وجود سويات من التوهين ذوات أهمية. وينبغي للهامش الكلي لوقت عدم التيسر فيما يعود إلى الانتشار ألا يقل، على كل حال، عن هدف النموذج قصير الأجل الضروري لتحقيق مواصفات التوصية ITU-T G.821 أي 0,2% من الشهر. لذا نُصح في التوصية ITU-R S.579 أن تتبنى هذه القيمة عند الترددات التي تقل عن 15 GHz.

بيد أن من الضروري متابعة دراسة الانتشار من أجل التثبت من نسبة مئوية ممثلة لنطاقات مختلفة من الترددات ولعدة قيم من زاوية الارتفاع ولعدة مناطق مناخية.

وأخيراً يلاحظ فيما يتعلق بتيسر نظام للإرسال (يستعمل تقنيات مثل التقنية TDMA) أنه قد يختلف عن التيسر المتعلق بالانتشار، وذلك بسبب إمكان خسارة التزامن عندما تقع الموجة الحاملة تحت عتبة من التزامن (10^{-2}، عادة) في خلال ثوان. ويجب التحسب، عموماً، لعدة مسيرات ذهاباً وإياباً قبل أن تتم الحيازة في نظام TDMA. ولهذا لا يمكن للتزامن أن يتبع دائماً الاسترجاع المؤقت لسوية الموجة الحاملة. ومن ثم، قد نجد فترات تصل الموجة الحاملة في أثنائها إلى سوية مقابلة لمعدل BER أفضل من 10^{-3}، ولكن الدارة قد تقدم في الوقت نفسه، ونتيجة لتأخر المزامنة، معدلاً BER مقاساً أسوأ 10^{-3}. وقد تساهم هذه الفترات في زيادة وقت عدم التيسر مقابل وقت التيسر.

تقوم المطاريف في بعض الأنظمة التشغيلية TDMA بقياسات للمعدل BER على أساس الكلمة الواحدة لكل رشقة من الحركة المستقبلة وعلى فترات متتالية تقل عن 10 ثوان. وتدوم هذه الفترة 4 ثوان (128 متعدد الأرتال) في حالة النظام EUTELSAT TDMA. وعندما يتم تجاوز عتبة من معدل الأخطاء BER بقيمة 10^{-3} أثناء فترة قياس واحدة، يجري تبادل سلسلة من إنذارات الصيانة لمعدل BER عال بين مطرافي الإرسال والاستقبال TDMA. وهذا ما يسبب إرسال تتابعات خاصة من التشوير (البتتان "a" و"b" عند 1 في كل الدارات المعنية بإشارة دلالة الإنذار (AIS)) نحو مركز التبديل الدولي (ISC) وانطلاقاً من المطرافين ويمكن تفسير هذه التتابعات باعتبارها رسائل تحرير النداء وقد تتسبب في انقطاع النداءات المعنية. وثمة حاجة لإجراء دراسات لاحقة من أجل تحديد تأثير الإنذارات بمعدل عال BER على تيسر الشبكة.

2.2 آليات أخرى تشكل أسباباً للخطأ

بالرغم من أن المساهمات الرئيسية في الأخطاء تعود في الأنظمة الرقمية الساتلية، إلى الانتشار وإلى تأثيرات التداخل، فإن آليات أخرى قد تشكل أسباباً للخطأ. ونجد في هذه الفقرة بعض المعلومات حول تكرار حدوث هذه الأخطاء ومدتها، وتتيح هذه المعلومات لمصمم النظام الساتلي أن يتعرف إلى هذه الآليات. ويمكن في الواقع، أن توزع، عند تصميم وصلة رقمية، نسبة مئوية مأخوذة من أهداف الأداء الإجمالية لهذه الآليات. على أنه يفترض أن هذه الأخطاء التي تساوي أو تقل مدتها عن 10 ثوان لا تؤدي إلى اعتبار الوصلة الساتلية غير متيسرة. وقد أُعطيت في التوصية ITU-R S.579 معلومات أخرى حول الآليات التي تسبب عدم التيسر.

لقد اكتشف أن آليات الأخطاء التالية تنتج رزماً من الأخطاء:

- تبديل مسير الإشارة في تجهيزات المحطة الأرضية IF وRF،
- تبديل مسير الإشارة في تجهيزات النطاق الأساسي للمحطة الأرضية،
- مسيرات التغذية بالطاقة في المحطات الأرضية،
- تبديل مسير الإشارة في الساتل.

وثمة تقديرات مبينة أدناه حول تواتر ظهور رزم الأخطاء العائدة إلى هذه الآليات ومدتها. وقد لخصت في الجدول 3.

الجدول 3

أمثلة نموذجة لآليات إنتاج رزمة أخطاء

التأثير	التردد	المدة
تبديل IF/RF	1,0 في الشهر	150 ms
تبديل هامشي	2,0 في الشهر	150 ms
تبديل في النطاق الأساسي	1,2 في الشهر	2-128 bits

يمكن أن نستنتج من خلال الجدول 3 ما يلي:

- يمكن الاستنتاج فيما يتعلق بتوصيل بمعدل 64 kbit/s في فترة تكامل مدتها دقيقة واحدة (1 min)، أن جميع التأثيرات المذكورة في الجدول 3 تتعارض مع هدف 1×10^{-6} في الدقيقة. وهذا يعني أن من الضروري أن نعتبر أن جزءاً من الوقت الذي يمكن خلاله تجاوز الهدف 1×10^{-6}، يعود إلى هذه التأثيرات فعلاً.
- تصل كمية الأحداث الإجمالية إلى 4,2 في الشهر وفقاً للجدول 3، أي أنه سيحدث من ثم انحطاط خلال 0,0097% من فترات الدقيقة الواحدة، وذلك كقيمة متوسطة.
- يدوم الحادث الواحد أقل من ثانية واحدة، مما سيؤدي إلى أن تحتوي قيمة متوسطة تساوي 4,2 من الثواني فقط في الشهر (أي 0,0002%)، على أخطاء بسبب التأثيرات المعنية.

تمثل نسبة الأحداث 4,2 في الشهر 0,01% فقط من الدقائق المنحطة و0,00016% من الثواني شديدة الأخطاء بينما تحدد التوصية ITU-R S.614 هامش سلامة من 0,13% و0,006%، على التوالي. لذا لا يحتاج قناع عدد التوصية إلى التعديل نظراً إلى احتمال وجود رزم من الأخطاء في نظام ساتلي معين، أما إذا كشفت دراسات لاحقة عن وجود آليات أخرى تتيح رزم الأخطاء، فسوف تتطلب الشروط الخاصة بمعدل الأخطاء BER إجراء تعديلات عليها.

1.2.2 التبديل IF وRF

تعود بعض الأخطاء إلى التبديل IF وRF المحقق من أجل تشغيل تجهيز النجدة عند حدوث عطل ما أو بسبب أعمال الصيانة الموسمية.

ويجب من أجل تحديد تردد الانحطاطات العائدة إلى التبديلات أن نعتمد متوسطاً مناسباً للأزمنة الفاصلة بين الأعطال (MTBF) بالنسبة إلى مكونات مختلفة، مما يسمح حينئذ، باستخلاص عدد التبديلات الشهرية. ويعطي الجدول 4 مثالاً لقيم MTBF، ويبين متوسط تردد التبديل الناتج عنها.

الجدول 4

المعدلات الممثلة لأعطال تجهيز المحطات الأرضية

الجهاز	MTBF (h)	متوسط تردد التبديل (لكل شهر)
مضخم عالي القدرة (HPA)	2 000	0,36
محوال رافع للتردد	4 000	0,18
مودم (مشكل–مزيل التشكيل)	4 000<	0,18>
مضخم منخفض الضوضاء (LNA)	8 000	0,09
تجهيز لاحق للمضخم LNA	50 000	0,01
محوال خافض للتردد	4 000	0,18
المجموع		1,0

تعود الأرقام ''الكلية'' الواردة في الجدول 4 إلى وصلة في اتجاه واحد تتضمن محطة أرضية للإرسال ومحطة أرضية للاستقبال. و لم نأخذ طبعاً في الاعتبار أن بعض الأشهر سوف تكون أسوأ من المتوسط إحصائياً. أما مسألة معرفة ما إذا كان من الضروري أخذ هذا الواقع في الاعتبار، فتحتاج إلى مزيد من الدراسة.

يُعتبر أن المدة النموذجية لكل تبديل تساوي 150 ms، بما في ذلك وقت رد فعل دارة التحكم.

2.2.2 التبديل عند النطاق الأساسي

لا تعتبر التجربة المكتسبة كافية للسماح بتحديد معدلات الأعطال، ذلك أن استعمال التجهيز الرقمي في النطاق الأساسي لا يزال محدوداً. وتتعلق المعلومة الوحيدة المتوفرة بتجهيز TDMA الذي يتوقع أن يقابل المعدل MTBF الإجمالي فيه 000 3 ساعة بالنسبة إلى التجهيز المركزي TDMA و000 2 ساعة بالنسبة إلى وحدات السطح البيني. وتعطي هذه الأوقات، إذا ما أخذت في الاعتبار عدداً من 0,6 من الأعطال لكل شهر أو 1,2 عطلاً في الشهر للوصلة الكاملة. وهذه قيمة يمكن أن تُراقب عن قرب إذا ما استخدمت تطبيقات مرضية في التصميم.

عندما يحدث العطل يكون وقت التبديل قصيراً جداً ولكن تأثيره في الحركة قد يستمر وقتاً طويلاً. وقد تتراوح النتيجة بين 2 و3 من الأخطاء في البتات، مما يؤدي إلى خسارة رتل متعدد، أي 128 بتة على قناة ما بمعدل 64 kbit/s.

3.2.2 تراوحات عابرة لمصدر الطاقة

يبدو تقدير هذا التأثير من الناحية الكمية صعباً جداً. ومن ثم يتمثل عنصر التقدير الوحيد المتيسر في أن هذه التأثرات الهامشية تسبب في التجهيز RF/IF ضعف عدد التبديلات التي تسببها الأعطال الفعلية في التجهيز. ومن هنا يمكن تخصيص تبديلين في الشهر لهذا التأثير بالاستناد إلى المعلومات المذكورة أعلاه.

4.2.2 تبديل مسير الإشارة في الساتل

بالرغم من عدم توفر أية معطيات في الوقت الحاضر، حول هذا التأثير، إلا أن احتمال حدوثه بالوتيرة نفسها التي يظهر فيها تبديل المسير في المحطات الأرضية سيكون، كما يقدر، احتمالاً ضعيفاً. بيد أن هذا الوضع قد يتغير كلما وضعت في الخدمة سواتل أكثر تعقيداً ولا سيما في حالة استعمال التبديل أو المعالجة على متن الساتل. ومن هنا تتطلب هذه النقطة، إذاً، مزيداً من الدراسة.

5.2.2 تأثيرات تبديلات التجهيزات على معلمات التوصية ITU-T G.821

لوحظ أثناء الاختبارات على TELECOM-1 بين Bercenay-en-Othe وTrou-Biran أن التبديلات في تجهيزات المحطات الأرضية تؤدي إلى التأثيرات التالية في معلمات التوصية ITU-T G.821.

	ثوان شديدة الأخطاء	ثوان خاطئة	دقائق منحطة
مضخم معلمي	2	2	0
مودم	2	2	0

إن معلومات إضافية ضرورية حول هذا الموضوع لا سيما فيما يتعلق بالتأثيرات التي تسببها تجهيزات أخرى RF/IF.

3. حسابات أداء الأخطاء ونماذجها

1.3 مقدمة

تصف هذه الفقرة الطريقة التي يمكن من خلالها تقدير أداء وصلة ما معبراً عنها بالاحتمالات BEP وفقاً لتوزيع نسب الوقت المئوية، وذلك بواسطة المعلمات المذكورة في الجدول 1. وتفسر الفقرة 2.3 أدناه الإجراء المستعمل في تحديد الأداء بينما تتضمن الفقرة 3.3 نماذج من الاحتمالات BEP وفقاً لنسب مئوية من الوقت مطابقة للتوصية ITU-T G.821 وترتكز هذه النماذج على الخصائص العامة لأنظمة ''حقيقية''.

2.3 طريقة الحساب

الفرضية الأولى والمهمة هي أن أداء وصلة النظام الساتلي محدود بآليات ذوات طبيعة عشوائية أساساً. وهذا يسمح باستعمال مقاربة بواسون (Poisson) أو مقاربة ثنائية، من أجل حساب احتمال حدوث عدد معين من الأخطاء أو نمط معين من الأحداث المحتوية على أخطاء خلال فترة زمنية محددة إلى جانب احتمال خطأ معين في البتات أو احتمال حدث يحتوي على أخطاء. ويتقارب هنا توزيع بواسون والتوزيع الثنائي داخل المدى الرقمي للمعلمات المعنية هنا.

وقد أظهرت المعطيات أن فرضية الحدوث العشوائي للأخطاء ولأحداث تحتوي على أخطاء فرضية صالحة. وتعرض الفقرة 5 مثالاً عنها بينما قدمت في اجتماعات للقطاع ITU-R أمثلة أخرى تؤكد هذه الفرضية. وتعرض أيضاً الفقرة 5 معلومات حول الفارق في توزيع حدوث الأخطاء بالنسبة إلى توزيع عشوائي ناتج عن استعمال التصحيح الأمامي للأخطاء.

ويجب، من أجل تقدير أداء الوصلة بالنسبة إلى استجابتها للشروط المحددة في التوصية ITU-T G.821، أن يصمم نظام لأداء الوصلة يعبر عنه بالاحتمال BEP وفقاً للنسب المئوية من الوقت. وعندما يوضع نموذج الوصلة، يمكن إجراء الحسابات من أجل تحديد ما إذا كان نموذج معين من الوصلة مطابقاً لمقياس الفاصل المحتوي على الأخطاء الذي تحدده التوصية ITU-T G.821. ويتم ذلك من خلال تقسيم محور النسب المئوية من الوقت إلى فواصل صغيرة. مما يعني تحديد قيم مقابلة ثابتة للاحتمالات BEP في هذه الفواصل الصغيرة، ثم حساب احتمالات حدوث مختلف الفواصل الخاطئة عند الاحتمال BEP، وضربها بقيمة الفاصل الزمني وجمع الاحتمالات لكل فاصل خاطئ ومقارنة الاحتمالات الناتجة مع المقياس المذكور سابقاً.

ومن أجل تفسير طريقة الحساب، تحدد نسبة مئوية من الثواني الخاطئة (ES)، ونسبة مئوية من الثواني شديدة الأخطاء (SES) ونسبة مئوية من الدقائق المنحطة (DM) ويتم الحساب كما يلي:

أ) تقسيم محور نسب الوقت المئوية الخاصة بالنموذج المعتبر إلى عدد الأجزاء الضروري لكي يصبح تمثيل المنحنى من خلال تقريب على سلم ممكناً، بينما يكون الاحتمال BEP ثابتاً على كل فاصل من السلم.

ب) تحديد احتمال ES أو SES أو DM وفقاً للحالة، بالنسبة إلى قيمة BEP في كل جزء متدرج انطلاقاً من الشكلين 1 و2.

ج) يعطي هذا الاحتمال، إذا ضُرب بنسبة الزمن المئوية الابتدائية في الفاصل، مساهمة ES أو SES أو DM التي يقدمها هذا الفاصل؛

د) يعطي مجموع هذه الإسهامات النسب المئوية الكلية ES أو SES أو DM.

ويمكن تلخيص العمليات أ) إلى د) رياضياً على الشكل التالي:

$$\text{مجموع جميع الإسهامات} = \Sigma\,[(1 - P(E, N, BEP)) \cdot \Delta T]$$

حيث:

ΔT: هو الفاصل الزمني للدرجة

$P(E, N, BEP)$: الاحتمال المتعلق بالهدف المعتبر

E: عتبة الخطأ

N: عدد البتات في الفاصل الزمني لمعلمة الأداء المعنية

BEP: احتمال الخطأ في البتات؛

هـ) يجب زيادة عبارة إضافية إلى المجموع الخاص بالثواني شديدة الأخطاء، وذلك من أجل إدخال الثواني الصادرة عن فترات يفوق فيها الاحتمال BEP قيمة 10^{-3} وهي أيضاً متيسرة (انظر الفقرة 5.1.2)؛

و) يمكن أخيراً التعبير عن النتائج بنسبة الوقت ''المتيسر'' المئوية. وبهذا تعطى النتائج وفقاً لشكل أهداف الأداء المحددة في التوصية ITU-T G.821. ويمكن مقارنتها بهذه الأخيرة.

لقد رُسمت منحنيات الشكلين 1 و2 بواسطة المعادلة التالية (توزيع Poisson):

$$P \text{ (عدد } E \text{ من الأخطاء، أو أقل)} = \sum_{k=0}^{E} \frac{(N \cdot BEP)^{K} \cdot \left(e^{-N.BEP}\right)}{K!}$$

حيث:

N: هو عدد البتات في الفترة الزمنية من التكامل المرغوب فيه، أي 64 000 × 60، على سبيل المثال، بالنسبة إلى فترة من دقيقة واحدة.

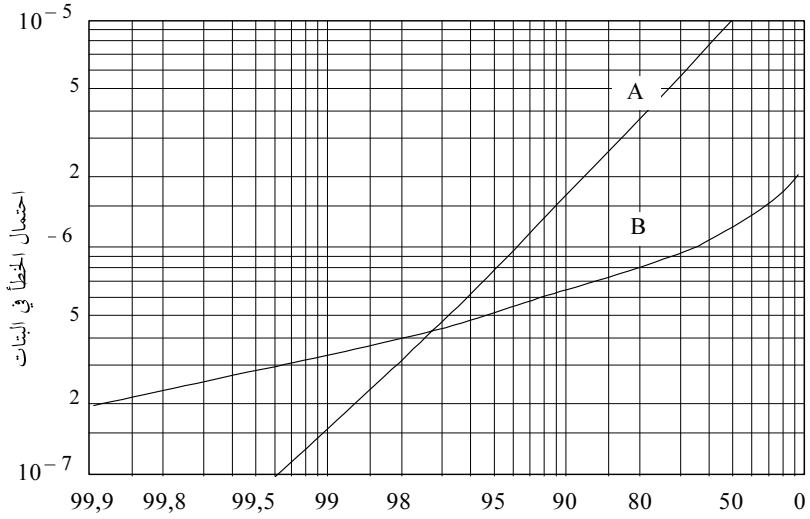
E: عتبة الخطأ

BEP: احتمال الخطأ في البتات.

3.3 أداء النماذج

يمكن تحديد عدد من نماذج أداء الأنظمة الساتلية التي ستطابق أهداف التوصية ITU-T G.821 أو ستتجاوزها وذلك بتطبيق عملية التحويل المذكورة أعلاه. ويمثل الشكل 3 أربعة من هذه النماذج.

الشكل 1



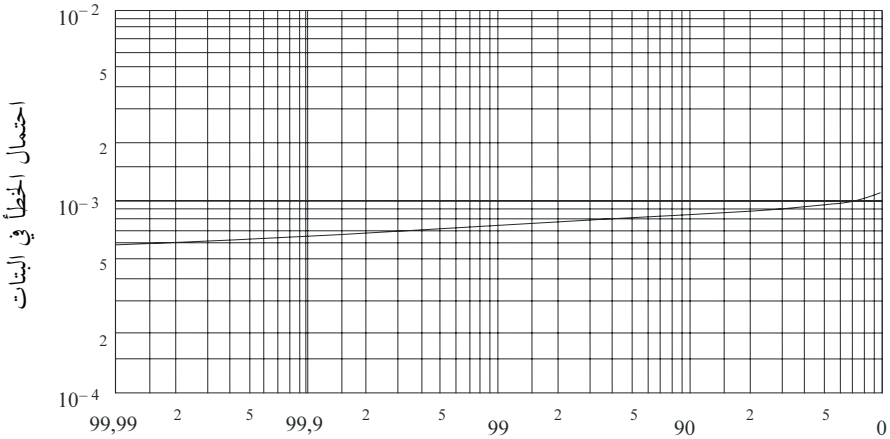
المنحنى A : احتمال ثوان خالية من الأخطاء، أي
(1 – احتمال ثوان خاطئة)

المنحنى B: احتمال 4 أخطاء أو أقل في الدقيقة الواحدة أي
(1 – احتمال دقائق منحطة)

D01

الشكل 2

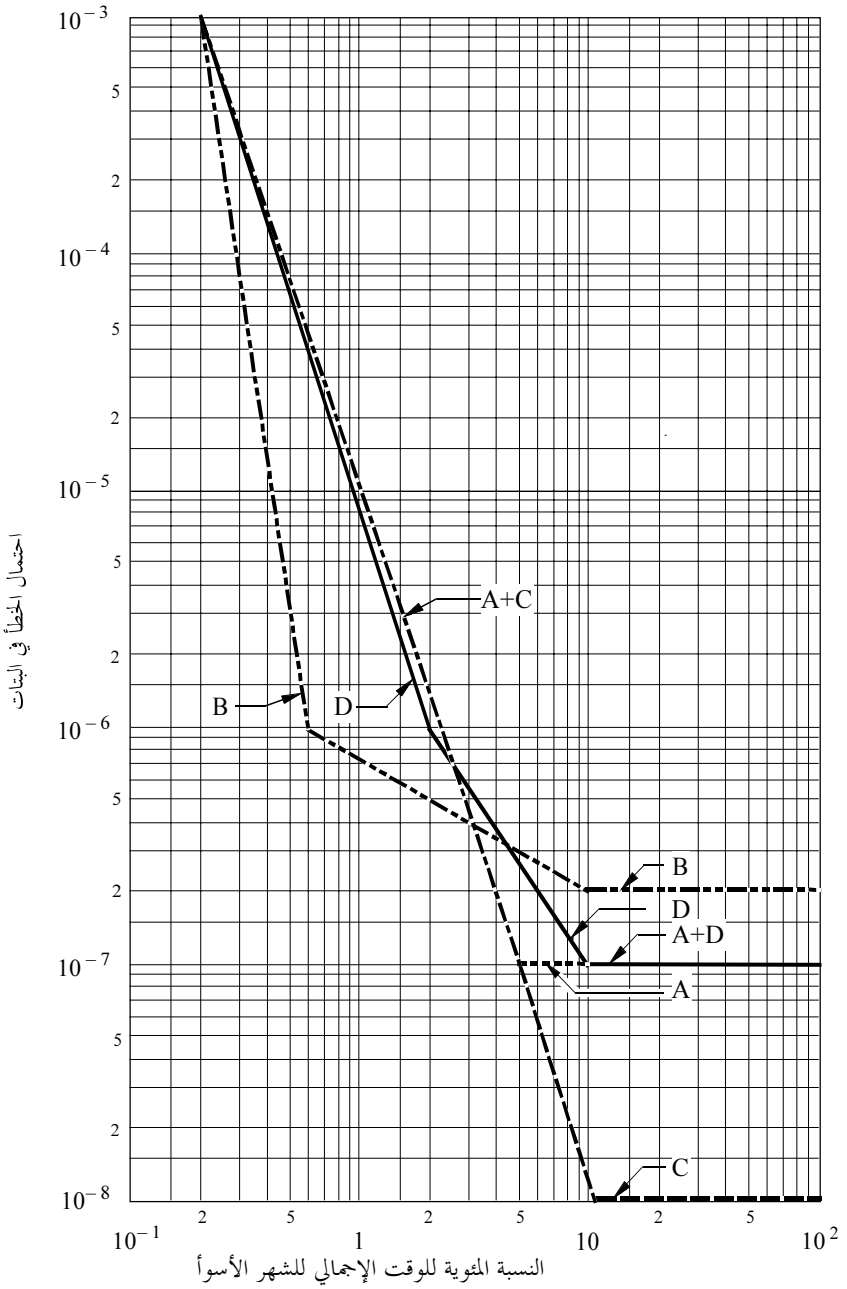
احتمال أن يساوي عدد الأخطاء 64 أو أقل خلال ثانية واحدة



الملاحظة 1– يقابل احتمال 64 خطأ أو أقل في الثانية الواحدة (1– احتمال ثوان شديدة الأخطاء)

الشكل 3

نماذج أداء BEP تطابق شروط التوصية ITU-T G.821



A : النموذج أ)

B : النموذج ب)

C : النموذج ج)

D : النموذج د)

تُقدم نقاط القطع طويلة المدى في هذه النماذج (معبراً عنها من خلال الوقت الإجمالي من الشهر الأسوأ) على النحو التالي:

- النموذج أ) : بالنسبة إلى 95% من الشهر الأسوأ، BEP = 1×10^{-7}
- النموذج ب) : بالنسبة إلى 90% من الشهر الأسوأ، BEP = 2×10^{-7}

بالنسبة إلى 99,4 % من الشهر الأسوأ، BEP = 1×10^{-6}

- النموذج ج) : بالنسبة إلى 89% من الشهر الأسوأ، BEP = 1×10^{-8}
- النموذج د) : بالنسبة إلى 90% من الشهر الأسوأ، BEP = 1×10^{-7}

بالنسبة إلى 98% من الشهر الأسوأ، BEP = 1×10^{-6}

كان الهدف من إنشاء النموذج ج) في الشكل 3 إنتاج نموذج يحافظ فيه على الأداءات عند قيم BEP ضعيفة (1×10^{-8}) وخلال أقصر وقت ممكن (89% من الشهر الأسوأ). وقد يكون هذا النموذج مناسباً حين تصبح الأداءات محددة على نحو شبه كامل من جراء التوهين بسبب المطر (أي فوق 10 GHz). ويؤمن الهامش الكبير ضد الخبو المطلوب في هذه الحالة، حصولاً على BEP جيد خلال قسم كبير من الوقت. أما بالنسبة إلى المنحنى A (النموذج أ))، فيهدف إلى تقدير تأثير نقطة القطع على المدى الطويل في حالة تبني قيمة BEP قدرها 1×10^{-7} واستعمل في هذه الحالة، قناع ذو نقطتي قطع.

خصص النموذج ب) للسماح بأعلى قيمة BEP ممكنة على المدى الطويل. وقد أدرجت نقطة قطع إضافية في هذه الحالة إلى BEP قدرة 1×10^{-6} بالنسبة إلى 99,5% من الشهر، وذلك من أجل ضبط أداءات النظام على نحو يجعلها أقرب من هذه النسب المئوية. ومن المحتمل أن يتناسب هذا النموذج والحالات التي يكون فيها التوهين العائد إلى المطر ضعيفاً أو حالات التداخلات المحدودة فيما بين الأنظمة وفي داخل الأنظمة.

أما النموذج د) فيحقق تسوية بين متطلبات الأنظمة المحدودة بالانتشار ومتطلبات الأنظمة المحدودة بالتداخل. ويعتبر أن من الممكن تحقيق مواصفات هذا النموذج في الأنظمة الساتلية كبيرة السعة، والتي تطبق التقنيات الحالية من غير أن تحدث أية زيادة في الكلفة أو في السعة.

وتشكل النقطة (0,2%، 1×10^{-3}) عنصراً مشتركاً للنماذج الأربعة ويجب التعرف إلى كيفية مطابقة تلك النماذج مع الهدف ب) الخاص بالثواني شديدة الأخطاء المحدد في التوصية ITU-T G.821. وهذا الهدف هو 10^{-3} بالنسبة إلى 99,97% من الوقت المتيسر خلال الشهر الأسوأ. ويعتبر، بناء على تعريف التوصية ITU-T G.821، بأن فترة من 10 ثوان متتالية أو أكثر شديدة الأخطاء (أي ذات معدل BER أسوأ من 1×10^{-3}) بمثابة وقت غير متيسر. وتدخل الفترات ذات التسع ثوان متتالية أو أقل ضمن الوقت المتيسر. ويمكن استخلاص دلالة عن النسبة المئوية من الوقت ''غير المتيسر''من خلال التوصية ITU-R S.579.

يعطي الجدول 5 أداءات هذه النماذج الأربعة معبراً عنها وفقاً لمعلمات التوصية ITU-T G.821. ويشير الجدول إلى نسب الفاصل الزمني في الوقت المتيسر خلال شهر واحد وبالنسبة إلى كل من المعلمات. وقد طرح الوقت غير المتيسر من الوقت الإجمالي من أجل الوصول إلى النتائج الواردة في هذا الجدول. ولما كانت التوصية ITU-T G.821 تتناول النسب المئوية من الوقت المتيسر، فإن الجدول 5 يسمح بمقارنة الأداءات وشروط هذه التوصية.

وقد حسبت قيم الجدول 5 بالنسبة إلى نقطة قطع قصيرة المدى (BER = 1×10^{-3}) تساوي 0,2% من الوقت الإجمالي وبالنسبة إلى عامل لتيسر الانتشار يساوي 10%.

ومن الممكن ملاحظة فارق دلالي في الجدول 5 ما بين النموذج ب) والنماذج الأخرى، ذلك أن النماذج أ) وج) ود) تؤدي إلى استجابة جميع المعلمات لأهداف التوصية ITU-T G.821 استجابة مماثلة تقريباً، بينما يستجيب الأداء في النموذج ب) لشروط الثواني الخاطئة استجابة واضحة.

يبدو من الواضح أن في الإمكان التعبير عن أهداف التصميم الخاصة بأي نظام ساتلي بالوقت الإجمالي (كما كان الحال في الماضي) أو بالوقت المتيسر ويقدم تبني الوقت المتيسر ميزة أساسية إذ أنه يظهر فوراً أن الأهداف متوافقة والتوصية

ITU-T G.821، ذلك أن من غير الضروري طرح أية فرضية تتعلق بالنسبة المئوية من الوقت غير المتيسر. أما في حالة احتياج المصمم إلى استعمال النسب المئوية من الوقت الإجمالي، فباستطاعته أن يستخدم عاملاً للتحويل مناسباً لنطاق الترددات المعني وللمنطقة المناخية المعتبرة. وقد يقود ذلك في الغالب إلى أهداف أقل صرامة مما هي عليه بالنسبة إلى ''الوقت الإجمالي'' لأنها تشتمل بهذا على فرضية النسبة المئوية من الوقت ''غير المتيسر''.

الجدول 5

الهدف	الأداء (% من الوقت المتيسر)				
	التوصية ITU-T G.821	النموذج أ)	النموذج ب)	النموذج ج)	النموذج د)
دقائق منحطة	2,0	1,97	0,75	1,97	1,87
ثوان خاطئة	1,6	1,59	1,60	1,06	1,56
ثوان شديدة الأخطاء	0,03	[1]0,024	[1]0,022	[1]0,024	[1]0,024

[1] لقد استعملت ثلاثة أعداد عشرية في هذه القيم للإشارة إلى مساهمة تكاملية الوقت مع $BER \geq 1 \times 10^{-3}$ في الثواني شديدة الأخطاء.

الملاحظة 1 – أعطيت القيم الواردة في الجدول من أجل إثبات الملاءمة مع التوصية ITU-T G.821 في حالات النماذج المختلفة المدروسة. وسوف يقود استعمال نماذج مختلفة إلى قيم مختلفة.

الملاحظة 2 – تجب الإشارة إلى أن أداء النظام قد يتجاوز الأداء المحدد في الحسابات أعلاه إذا ما ارتكز مصمم النظام الساتلي، في حساب النظام، على أحد النماذج من الأنماط المبينة في الجدول ارتكازاً مباشراً، لأن نسبة الاحتمال BEP% إلى نسبة الوقت المئوية الخاصة بالنظام ستتجاوز حتماً في الواقع، وفي أكثر الحالات، تلك القيم المحددة في النموذج.

4.3 إجراءات القياس العملية

1.4.3 مقدمة

يتجه عادة اختبار الشبكة إلى التحقق من أن الشبكة تستجيب لأهداف الأداء المعبر عنها بالنسبة إلى معلمات التوصية ITU-T G.821 (ES وSES وDM). ومن ثم يوصى أن تقاس هذه المعلمات قياساً مباشراً كلما أمكن ذلك، وفقاً للتوصية ITU-T G.821 بدلاً من قياس قيم المعدل BER في هذه التوصية.

إلا أنه قد يتوجب أيضاً أن تقاس قيم المعدل BER للنظام الساتلي من أجل مقارنتها مع قيم المعدل المحدد في الفقرة 1 من *''توصي''*.

ويسمح ذلك أيضاً بأن تدرس العلاقة بين قياسات المعدل BER وقياسات المعلمات المحددة في التوصية ITU-T G.821. ويستحسن، في هذه الحالة، أن يتبع إجراء مناسب من أجل قياس المعدلات BER وفقاً للنسب المئوية من الوقت لأن فترة التكامل لها تأثير على النتائج المحققة. ويبين الشكل 4 هذا المبدأ عندما تطبق فترات تكامل من ساعتين وساعة واحدة و15 دقيقة ودقيقة واحدة و10 ثوان وثانيتين وثانية واحدة على المجموعة نفسها من المعطيات المقيسة.

ويقترح، من ثم، تبني الخوارزميات التالية من أجل تأمين مقارنة النتائج المحققة في الاختبارات المختلفة.

2.4.3 خوارزميات القياس

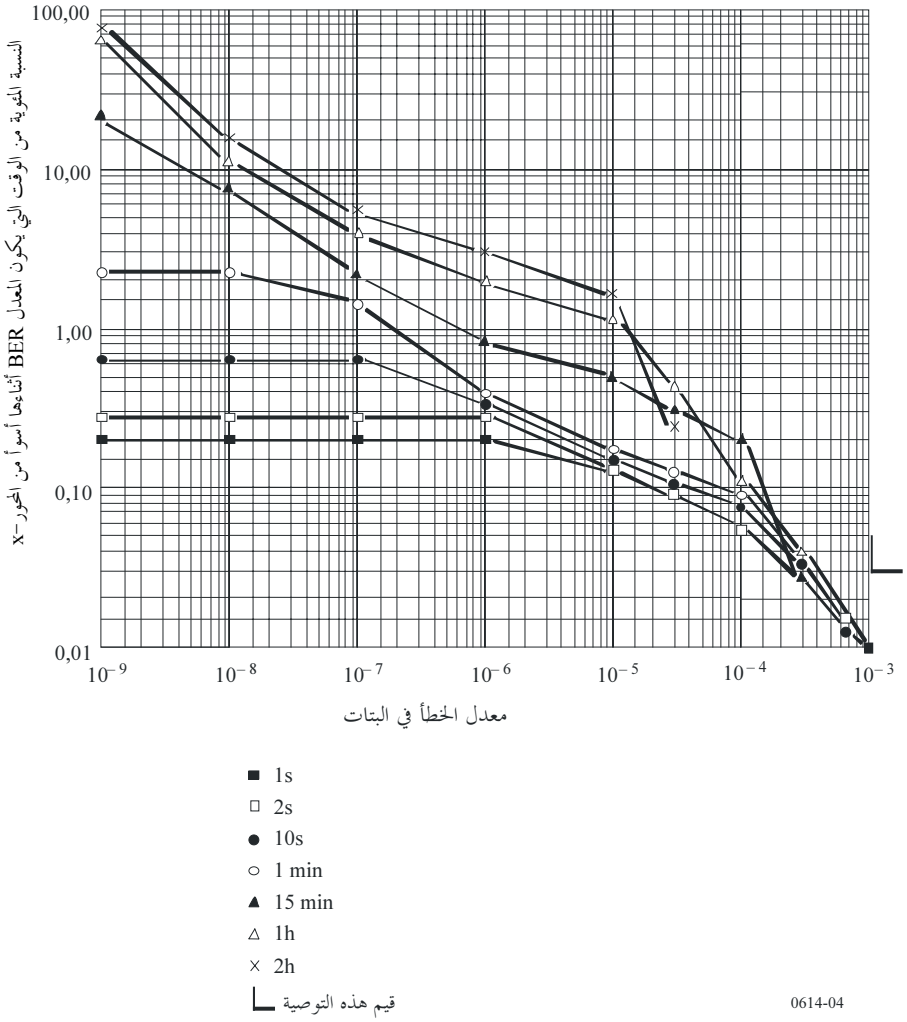
وضعت لهذا الغرض خوارزميتان هما:

أ) خوارزمية تجميع المعطيات التي تعتبر خوارزمية تنوعية نمطية لتجهيزات اختبار خاصة. وبهذا تكون هذه الخوارزمية مشابهة للخوارزميات المستخدمة في أكثرية تجهيزات الاختبار الحالية.

ب) خوارزمية تحليل المعطيات.

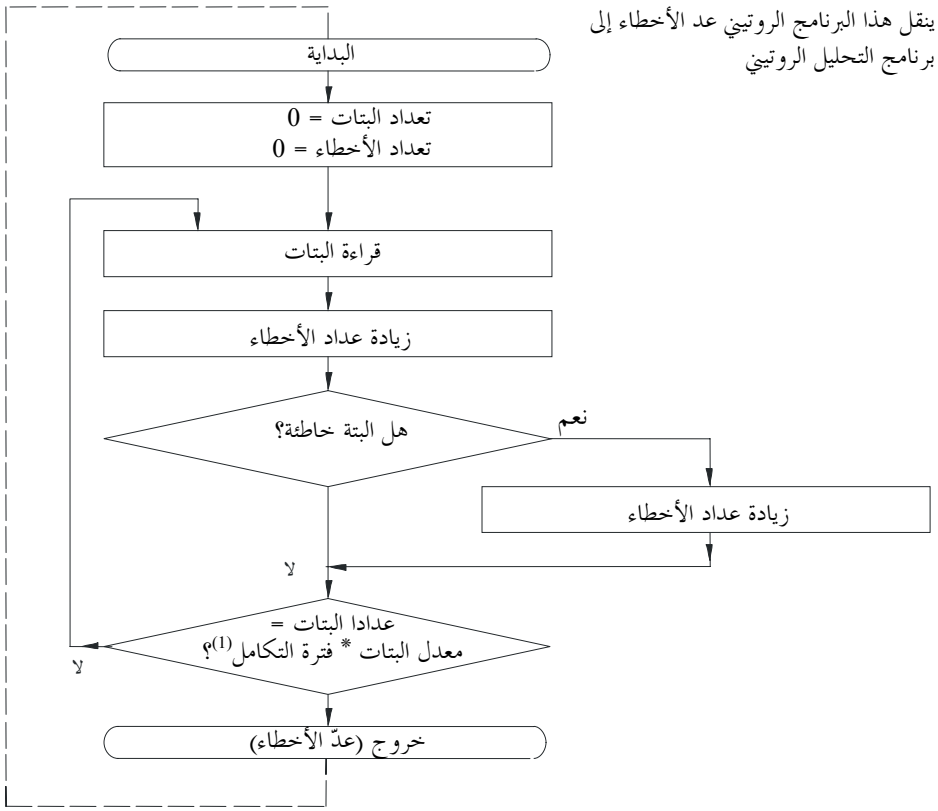
الشكل 4

تفحص العلاقة فيما بين قياسات المعدلات BER وقياسات المعلمات المحددة في التوصية ITU-T G.821



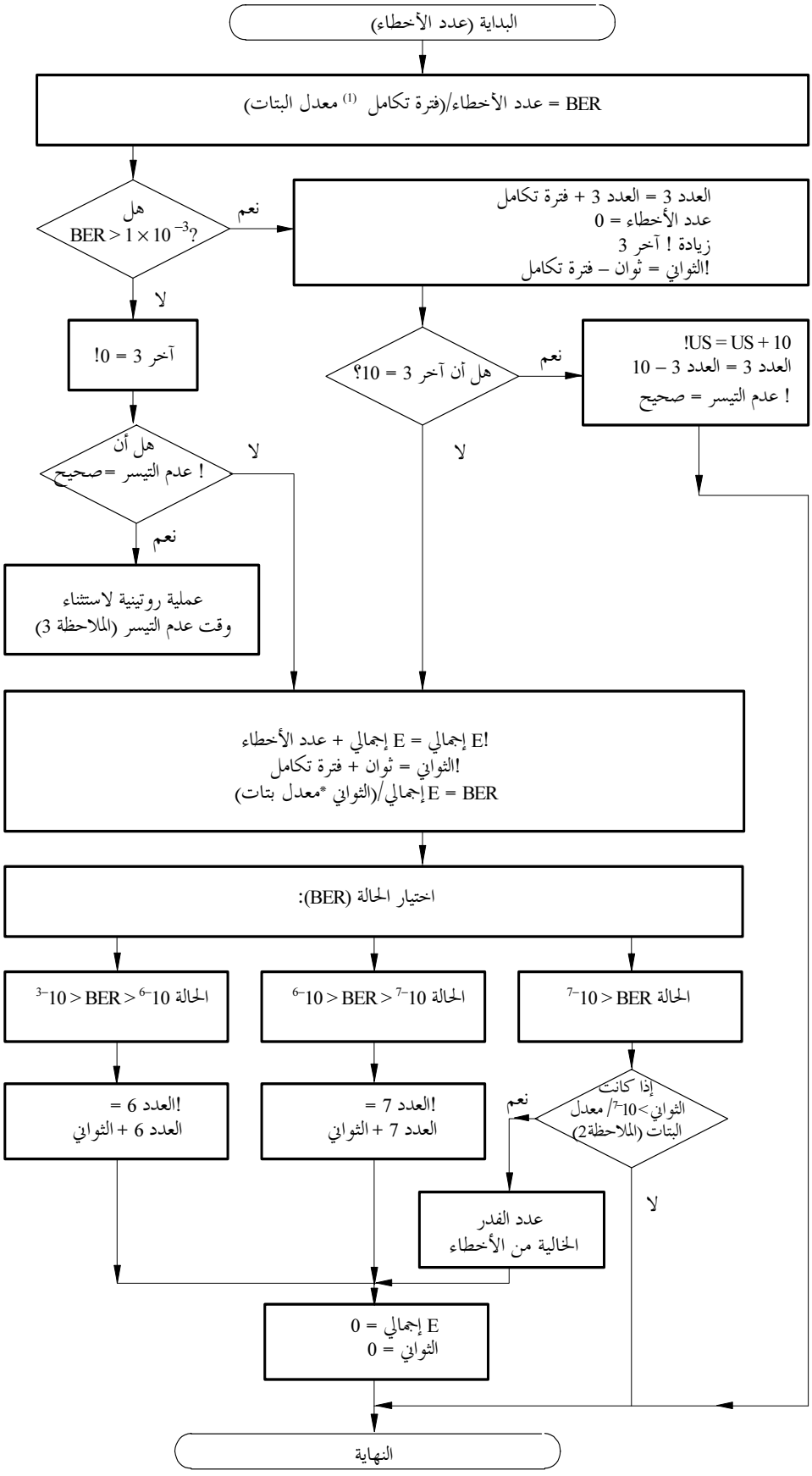
يعتبر من الأساسي أن تستخدم فترة التكامل نفسها (ومعدل البتات) لكل خوارزمية. وفيما يلي وصف مخطط الانسياب لكل خوارزمية:

أ) *خوارزمية تجميع المعطيات*



(1) افترضت هذه الخوارزمية أن فترة تكامل من ثانية واحدة قد تستعمل من أجل ضبط هذه التوصية وفقاً لمبادئ التوصية ITU-T G.821.

أ) *خوارزمية تحليل المعطيات*



[1] افترضت هذه الخوارزمية أن فترة تكامل من ثانية واحدة قد تستعمل من أجل ضبط هذه التوصية وفقاً لمبادئ التوصية ITU-T G.821.

الملاحظة 1 – إن استعمال الرمز ''!'' قبل اسم المتغير في الخوارزمية أعلاه يدل على ضرورة معالجة المتغير باعتباره ساكناً أي أنه ينبغي المحافظة على القيمة بعد كل نداء من هذا البرنامج الروتيني أثناء أي اختبار. ويظهر عادة الرمز ''!'' مرة فقط لكل متغير وينبغي أن تعالج كل احتمالات حدوث هذا الاسم للمتغير بالطريقة نفسها.

الملاحظة 2 – تعتبر قيمة 10^{7}/معدل البتات ضرورية لاستثناء الفترات الخالية من الأخطاء.

الملاحظة 3 – يعتبر هذا البرنامج الروتيني ضرورياً من أجل استثناء فترات عدم التيسر من التحليل BER إلى حين استعادة وقت عدم التيسر. راجع التوصية ITU-T G.821 من أجل معلومات أوفر. وحينما يعاد إدخال وقت التيسر كما هو معرف في التوصية ITU-T G.821، ينبغي للمتغير ! عدم التيسر أن يعاد تثبيته عند القيمة ''خطأ''.

الملاحظة 4 – يمكن استخدام هذا البرنامج الروتيني لأي معدل من البتات. وتحقق أفضل مقارنة بين التوصية ITU-T G.821 والتوصية ITU-R S.614 عندما تقاس دارة بمعدل 64 kbit/s.

الملاحظة 5 – تقسم الأعداد الثلاثة (!العدد 3 و!العدد 6 و!العدد 7) على مدة القياس الكلية ثم تضرب بـــ 100 من أجل إعطاء النسب المئوية من الوقت لكل معدل BER (10^{-3} و10^{-6} و10^{-7}) وتقارن مع الأهداف المشار إليها في التوصية ITU-R S.614، أي،

$$\% \text{ من الوقت التي يكون المعدل BER أثناءها} > 1 \times 10^{-3} = \frac{!\text{العدد } 3}{\text{مدة القياس}} \times 100$$

4 أمثلة لأداء وصلات ساتلية نموذجية

تحتوي هذه الفترة على نتائج حساب الأداء الرقمي المتوقع بالنسبة إلى ثلاثة أنظمة من الإرسال الرقمي الساتلي ذوات خصائص مختلفة:

- 6/4 GHz INTELSAT-V 120 Mbit/s TDMA،
- 14/11 GHz EUTELSAT 120 Mbit/s TDMA،
- 14/11 GHz INTELSAT-V 120 Mbit/s TDMA (مع التحكم في القدرة على الوصلة الصاعدة واختلاف المواقع).

يستند اختيار هذه الأنظمة إلى كونها تشغل حالياً وصلات ساتلية نموذجية في النطاقين 6/4 GHz و14/11 GHz، ومن ثم تستطيع أن تزودنا بالتوجيهات عند تصميم أجزاء التوصيلات المستقبلية الساتلية الخاصة بشبكة ISDN. هذا ويمكن أن تختلف خصائص الأداء وفقاً لبعض العوامل مثل زاوية الارتفاع، ومعدل الأمطار وأوضاع التداخل. وينبغي لمصمم النظام أن يأخذ بعين الاعتبار جميع هذه العوامل عند تصميمه لمسير HRDP في شبكة ISDN.

أما نتائج حسابات موازنة الوصلة فهي منحنيات خاصة باحتمالات الخطأ في البتات بدلالة نسبة الوقت الكلي المئوية خلال الشهر الأسوأ. وتُزودنا هذه المنحنيات بفكرة حول انعكاسات أهداف الشبكة ISDN على تصميم الأنظمة الساتلية.

وتتضمن أيضاً الفقرة 3.4 نتائج الحسابات التي أجريت وبين Bercenay-en-Othe (فرنسا) وTrou Biran (غويان الفرنسية) على وصلة لقناة خدمة بمعدل 64 kbit/s. وقد أجريت هذه القياسات في خلال أكثر من سنة مع تسجيل متوسط شهري من 445 ساعة.

1.4 نموذج التوهين

يشكل نموذج التوهين المستعمل في الحسابات المتعلقة بنظام INTELSAT-V، تطبيقاً للطريقة الموضحة في التوصيات ITU-R من السلسلة PN. ويمكن، من خلال اتباع هذه الطريقة حساب النسبة المئوية السنوية للتوهين العائد إلى المطر على مسير مائل وعند مواقع المحطات الأرضية. وتحدد الإحصائيات من خلال استخدام عدة معلمات هي التالية:

- المناخ المطري ولا سيما معدل المطر مقيساً عند نقطة معينة – أثناء 0,01% من سنة متوسطة،
- ارتفاع المحطة الأرضية فوق سطح البحر،
- زاوية ارتفاع المحطة الأرضية في اتجاه الساتل،
- خط عرض المحطة الأرضية.

ويحسب من خلال هذه المعلمات التوهين العائد إلى المطر، والذي يتم تجاوزه خلال 0,01% من السنة. أما فيما يتعلق بالنسب المئوية السنوية الأخرى، فتحسب قيم التوهين بواسطة العلاقة التالية:

$$A_P = b\, A_{0,01}\, P^{-a}$$

حيث:

A_P: هي التوهين الخاص بالنسبة المئوية السنوية المرغوب فيها

$A_{0.01}$: التوهين أثناء 0,01% من السنة

P: النسبة المئوية السنوية المرغوب فيها

a and b: ثابتان.

يمكن حساب القيم السنوية للتوهين بالنسبة إلى التوهين خلال ''الشهر الأسوأ'' بواسطة العلاقة التالية:

$$P_y = 0,29\, P_w^{1,15}$$

حيث:

P_y : هي النسبة المئوية السنوية

P_w : النسبة المئوية للشهر الأسوأ.

لقد استعملت هذه الطريقة من أجل رسم منحنيات أداء INTELSAT-V ممثلة في الشكل 5. وافترض، فيما يتعلق بالنظام INTELSAT-V GHz 6/4 بأن الإرسال يتم من الولايات المتحدة الأمريكية إلى إيطاليا عبر محطتين قائمتين في منطقة المناخ المطري''K'' وقد بلغت زاوية ارتفاع محطة الولايات المتحدة الأرضية 25° بينما بلغت زاوية ارتفاع محطة إيطاليا الأرضية 21°. أما في حالة النظام INTELSAT GHz 14/11، فإن موقع محطة الإرسال الأرضية كان في المملكة المتحدة وبلغ ارتفاع 29°، بينما كان موقع محطة الاستقبال الأرضية في الولايات المتحدة أيضاً وزاوية ارتفاعها هي نفسها. وتقع محطة المملكة المتحدة الأرضية في منطقة المناخ المطري ''G''ومحطة الولايات المتحدة الأرضية منطقة المناخ المطري ''K''، مرة أخرى.

أما بالنسبة إلى النظام INTELSAT-V GHz 6/4، فتراعي موازنة الوصلة إسهامات التداخل العائدة إلى أنظمة الأرض وأنظمة أخرى وإلى مصادر أخرى من التداخل في القناة نفسها أو في القنوات المجاورة. وقد أقر بإعادة استعمال التردد أربع مرات مع تمييز الاستقطاب والعزل الفضائي. وأدخلت تغيرات قدرة خرج المرسل المستجيب العائدة إلى التغييرات في نقطة التشغيل والتي يسببها الخبو على الوصلة الصاعدة – من خلال استخدام خاصية النقل اللاخطي في المرسل – المستجيب.

وافترض، استجابة لحاجات هذه الدراسة، وبالنسبة إلى النظام INTELSAT GHz 14/11 أن 10 dB من التحكم في القدرة على الوصلة الصاعدة مطبقة تطبيقاً مستمراً، وافترض أيضاً أن اختلاف المواقع مع فصل من 20 كيلومتر فيما بين المواقع يستعمل عند محطات الاستقبال. وأخذت بعين الاعتبار تغيرات قدرة خرج المرسل – المستجيب العائدة إلى التغييرات في نقطة التشغيل كذلك – وهي التغييرات التي تعود إلى الخبو على الوصلة الصاعدة. ولم يرسم أي منحنٍ من النظام INTELSAT، مع القبول باستعمال تشفير لتصحيح الأخطاء. وتجب الإشارة إلى أن جميع المطاريف INTELSAT TDMA قد صُممت من أجل اللجوء إلى نظام اختياري خاص بتصحيح الأخطاء الأمامي، ويستعمل شفرة فدرية بمعدل (128:112) BCH 7/8 تسمح بالحصول على كسب في التشفير قدره 3 dB على الأقل بالنسبة إلى معدل من الخطأ في البتات عند الدخل قدره 1×10^{-4}.

وتم الحصول على أداء النظام EUTELSAT بواسطة طريقة مشابهة. وتقابل إحصائيات التوهين مناخاً نموذجياً من أوروبا القارية، وهي مرتكزة على قياسات حققت مع النظام OTS. وهذه الإحصائيات مشابهة لمنحنى ''المناخ H'' في السلسلة ITU-R PN، لكنها أكثر تفاؤلاً.

2.4 اعتبارات الانتشار المتعلقة بالأهداف على المدى القصير

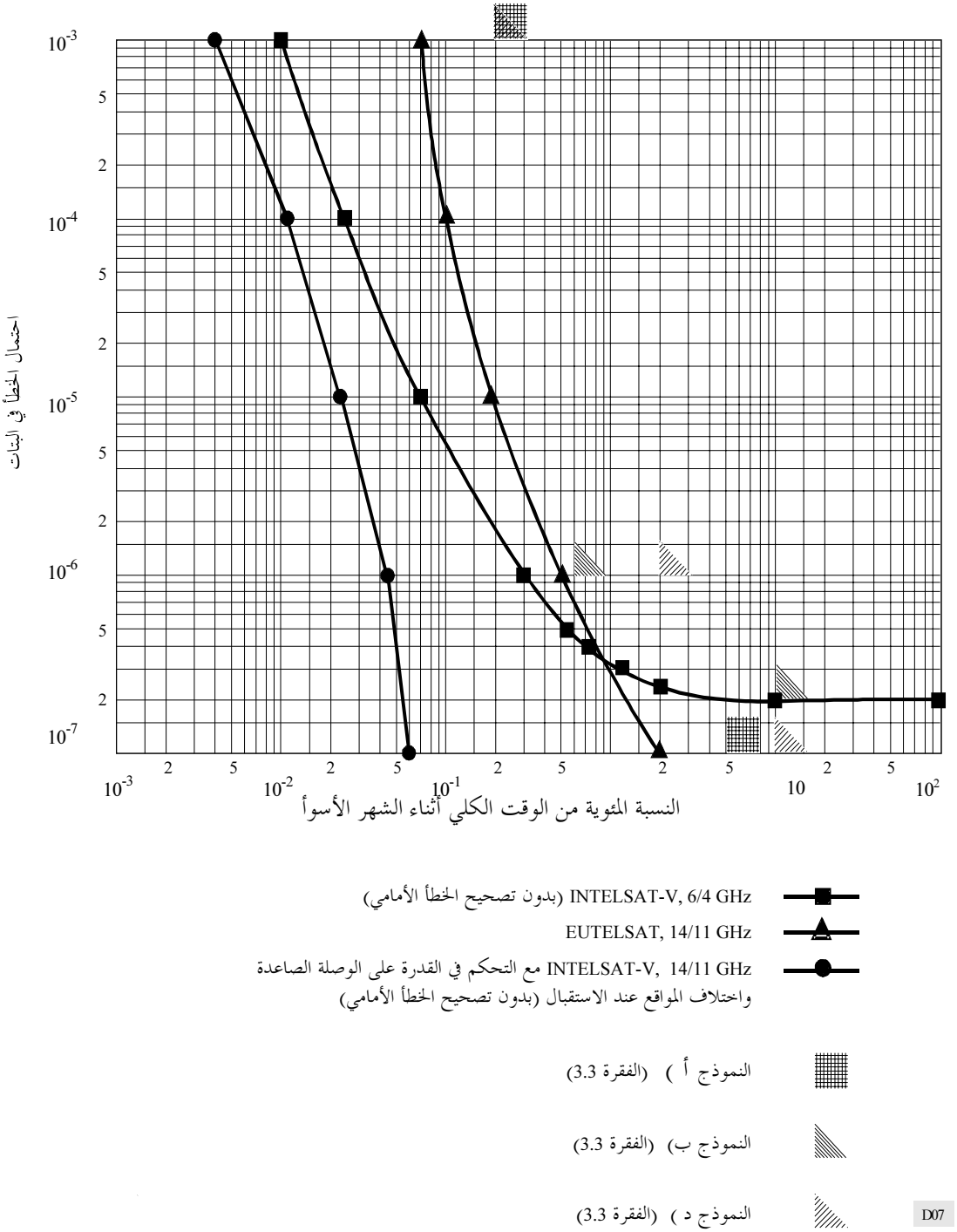
يعبر في توصيات القطاع ITU-R المتعلقة بالأداء عن بعض الأهداف قصيرة المدى من خلال النسب المئوية السنوية، كما يعبر، في المقابل، عن الأهداف على المدى الطويل من خلال النسب المئوية من الشهر الأسوأ. هذا ويعبر أيضاً عن الأهداف المذكورة

في التوصية ITU-T G.821 بالنسب المئوية خلال فترة من الزمن تساوي شهراً تقريباً. وهذا يقود إلى الاستنتاج أن استعمال إحصائيات التوهين الشهرية قد يبدو ضرورياً في جميع التوصيات المقبلة المتعلقة بالسواتل وبأداء الشبكة ISDN.

ونجد المعلومات المتعلقة بهذا التحويل في السلسلة ITU-R PN حيث يمكن ملاحظة تغير عامل التحويل مع تغير المناخ ونسبة الزمن المئوية. ويتراوح عامل التحويل وفقاً للمناخ بين 4,5 و6,5 بالنسبة إلى 0,01% من السنة.

الشكل 5

احتمال الخطأ في البتات وفقاً للنسبة المئوية من الوقت الكلي أثناء الشهر الأسوأ



أما فيما يتعلق بالتأثير الذي يسببه التوهين في الإرسال والواجب التحسب له عند الترددات المختلفة، فإن من الممكن إبداء بعض الملاحظات العامة حوله.

وهذه الملاحظات هي التالية:

- بالنسبة إلى الترددات التي تقل عن 10 GHz يصبح احتمال الخطأ BEP على المدى الطويل محدداً في حالة إعادة استعمال الترددات 6/4 GHz المشار إليها أعلاه.
- بالنسبة إلى الترددات التي تتراوح 10-15 GHz يصبح احتمال الخطأ BEP على المدى القصير (10^{-3}) محدداً وذلك في حالة عدم اللجوء إلى تقنية التنوع. وقد حللت سابقاً حالات التنوع وحالات عدم استعمال التنوع.
- بالنسبة إلى الترددات التي تفوق 15 GHz ولا سيما عند 20/30 GHz، فيرجح أن يكون الاحتمال BEP على المدى القصير (10^{-3}) هو المحدد. ولكن لم يجر أي تحليل حول الموضوع.

3.4 نتائج القياسات على الساتل TELECOM-1

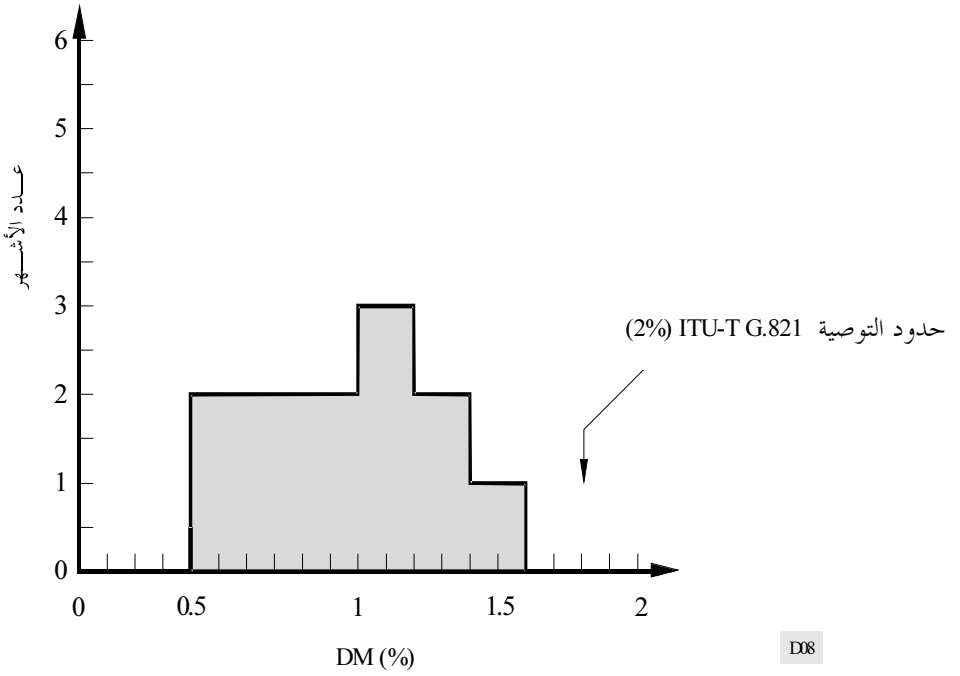
كانت خصائص هذه الوصلة المشابهة للنموذج أ) في الشكل 3 هي التالية:

- موازنة الوصلة المحسوبة من أجل الحصول على معدل للأخطاء أفضل من 10^{-4} في أثناء 99,9% من الوقت وهذا ما يقابل معدلاً يساوي 10^{-7} تقريباً في السماء الصافية؛
- E_b/N_0 = 14,00 dB؛
- معدل البتات المرسل = 8,768 Mbit/s بدون تصحيح مباشر للأخطاء؛
- الإرسال في النطاق 6/4 GHz.

ويشار في الشكلين 6 و7 إلى نتائج هذه الاختبارات بالنسبة إلى الدقائق المنحطة DM والثواني الخاطئة ES، على التوالي. وتمثل الثواني شديدة الأخطاء SES بين 0,01% و0,02%.

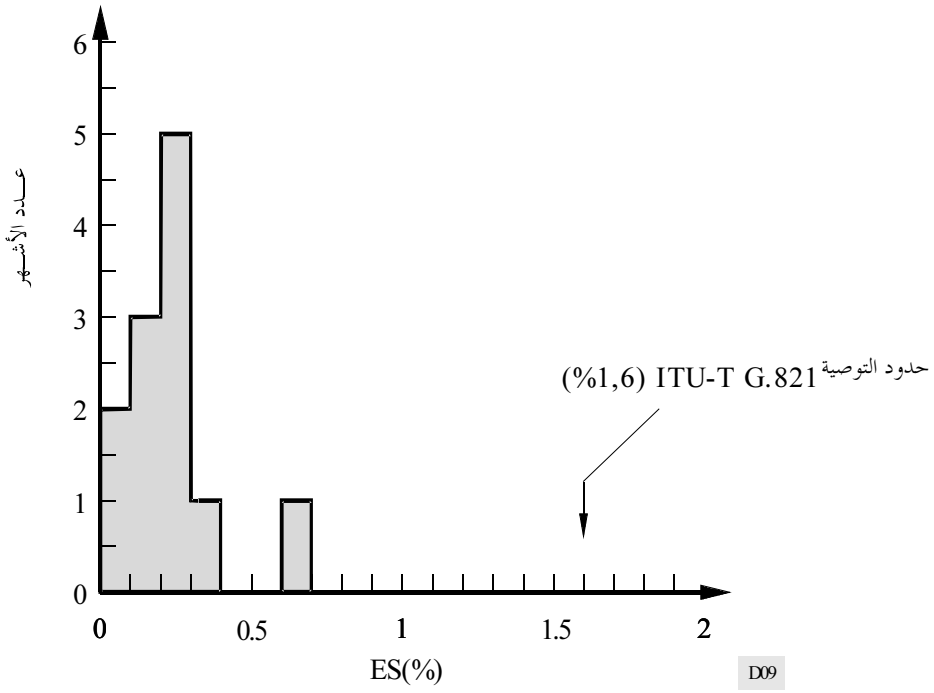
الشكل 6

توزيع الدقائق المنحطة (DM) على أساس شهري



الشكل 7

توزيع الثواني الخاطئة (ES) على أساس شهري



ولا تبين هذه النتائج عدم التيسر العائد إلى ظاهرة التلألؤ التي تحدث في المنطقة الاستوائية حيث تقع المحطة الأرضية Trou-Biran.

وقد لوحظ أثناء القيام بالقياسات أن التداخلات الشمسية تسبب زيادة في وقت عدم التيسر وزيادة في الثواني شديدة الأخطاء SES (التوصية ITU-R S.579 تتوقع نسبة من عدم التيسر بقدر 0,2% خلال أي شهر فيما يتعلق بأية ظاهرة تعود إلى شروط الانتشار).

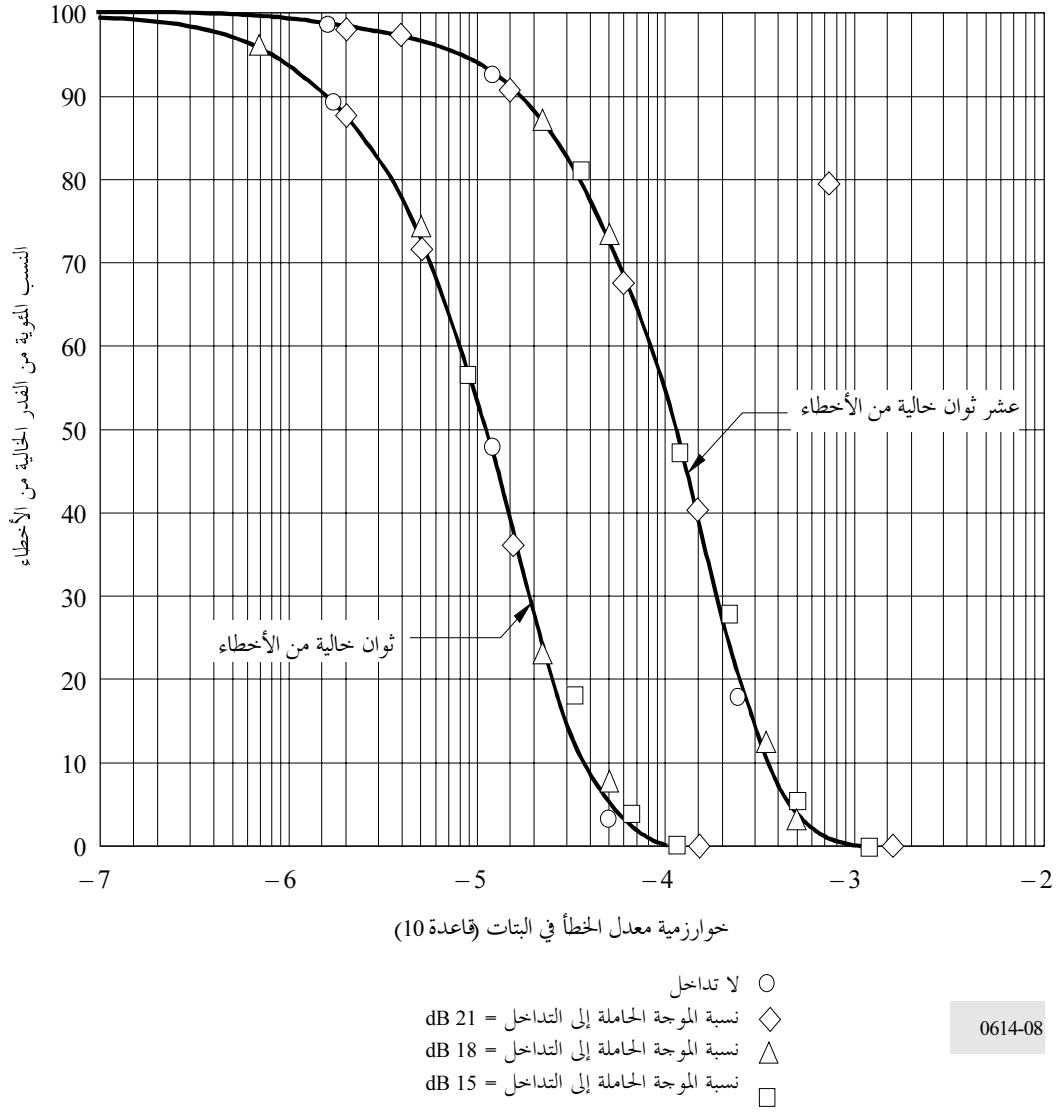
5 توزيع الأخطاء على وصلة ساتلية وتأثيرات التشغيل غير المشفر والتشغيل الذي يستعمل تصحيح الخطأ الأمامي (FEC)

1.5 مقدمـــــة

تعتبر الطريقة المعروضة في هذه الفقرة من أجل تحديد ما إذا كان أداء الوصلة الساتلية كافياً لاستجابة الشروط المبينة في التوصية ITU-T G.821 مبنية على الافتراض بأن الأخطاء التي تنتجها الوصلة الساتلية تحدث بصفة عشوائية. وتعتبر هذه الفرصة صحيحة عموماً، فيما يتعلق بالوصلات التي لا تستخدم تصحيح الخطأ الأمامي (FEC). ويعطي الشكل 8 مثالاً لصلاحية هذه الفرضية.

الشكل 8

توزيع القدر الخالية من الأخطاء: 64 kbit/s، ولا تشفير بتصحيح FEC



يكون توزيع الأخطاء الفردية في البتات على شكل ''رشقات'' في الوصلات التي تستخدم تصحيح الخطأ الأمامي (FEC) أو مجمعاً بسبب تشغيل مفكك الشفرة FEC، وتحدث الأخطاء عند خرج مفكك الشفرة على شكل زمر وتفصل الزمر فواصل زمنية خالية من الأخطاء طويلة نسبياً. ويمكن تعريف كل زمرة أو ''حدث من الأخطاء''باعتبارها فاصلاً يبدأ بخطأ في البتات وينتهي به، ويحتوي على عدد من الأخطاء فيما بينها. وتختلف هذه ''الأحداث من الأخطاء''في الطول، كما أن المعدل BER داخل هذه الفواصل قد يصل إلى 0,5. وقد قدمت معطيات إلى القطاع ITU-R تدل على أن حدوث هذه ''الأحداث من الأخطاء''عشوائي ومن ثم يمكن محاكاته بنموذج يستخدم إحصائيات من النمط الثنائي أو من نمط بواسون.

ويبين الشكل 8 مثالاً لفرضية خطأ عشوائي. وتظهر نتائج قياسات ميدانية تقارن بين توزيع الفواصل الخالية من الأخطاء (EFI). والثواني الخالية من الأخطاء، وعشر الثواني الخالية من الأخطاء مع توزيع للأخطاء في البتات من نمط''بواسون''. ويظهر بوضوح التوافق بين المعطيات المقيسة والتوزيع النظري. كما تُظهر المعطيات أن التوافق يكون جيداً كذلك بين الأنظمة التي تؤثر فيها الضوضاء الحرارية والضوضاء الحرارية إضافة إلى التداخل. وقد أجريت هذه القياسات على وصلة ساتلية TDMA عروية بمعدل 120 Mbit/s، وعلى قناة فرعية بمعدل 64 kbit/s. وقد شُغِّل النظام ضمن شروط متخلفة من التداخل في القناة نفسها الذي تسببه موجة حاملة مستمرة مشابهة بمعدل 120 Mbit/s.

وتبين أن المساهمات الرئيسية للأخطاء على الوصلات الساتلية الرقمية تعود إلى تأثيرات الانتشار والتداخل التي يمكن وصفها في توزيع من نمط ''بواسون''. إلا أنه حين يطبق تصحيح الخطأ الأمامي (FEC) (المستخدم في عدة أنظمة ساتلية رقمية من أجل تحسين الأداء) على القناة الرقمية، فإن الأخطاء التي تصل إلى خرج مفكك الشفرة تميل إلى الحدوث في رزم ومن ثم تبتعد عن قانون بواسون. ويمثل هذا التأثير للحشد بقياس الفواصل EFI الموضحة في الشكل 9. وتتعلق درجة الابتعاد عن قانون بواسون بمخططات التشفير وتعدد الإرسال المميزة المستخدمة.

وتعرض هذه الفقرة أمثلة عن مخططات تشفير نموذجية ونتائج قياسات تظهر تأثير مخططات FEC محددة على الوصلة الساتلية الرقمية وتدخل نماذج تمهيدية رياضية يمكن استخدامها من أجل وصف خاصية الرشقات.

2.5 خصائص مخططات التشفير FEC النموذجية

1.2.5 تشفير بمعدل BCH 7/8

يستعمل التشفير FEC بمعدل 7/8 (Bose وChaudhuri وHocquenghem) BCH استعمالاً واسعاً في الأنظمة الساتلية الرقمية أي الأنظمة TDMA 120 Mbit/s من النظام INTELSAT. وتصحح هذه الشفرة الفدرية إلى خطأين في فدرة من 127 بتة ويمكن أن تكشف ثلاثة أخطاء، إلا أن مفكك الشفرة لا يبدأ بالعمل في هذه الحالة. ومن ثم فإن عدد الأخطاء الأكثر احتمالاً في فدرة BCH هو 3 عند خرج مفكك الشفرة. وتعاد بنينة قطار البتات في هذا المخطط إلى فدر من 112 بتة للمعلومات تضاف إليها 15 بتة تشفير إطنابية وبتة زائفة، ويحافظ بهذا على طول إجمالي للفدرة من 125 بتة. ومن ثم وأثناء عملية التشفير، تفصل البتات المتماسة ذات العدد 128 الخاصة بقناة معينة بمعدل 64 kbit/s والتي تظهر في البداية في رشقة فرعية، وفقاً لإحدى الطرائق السبع التالية:

أ)	112: 16	ب)	96:32	ج)	80:48	د)	64:64
هـ)	48:80	و)	32:96	ز)	16:112		

ونتيجة لذلك، يمكن للقنوات الفردية أن تظهر أربع درجات مختلفة من ''طابع الرشقة'' فتكون أ) وز) لها أقصى طابع رشقي ود) أقل طابع رشقي.

2.2.5 التشفير التلافيفي–وطريقة "فيتربي" (Viterbi) لفك التشفير

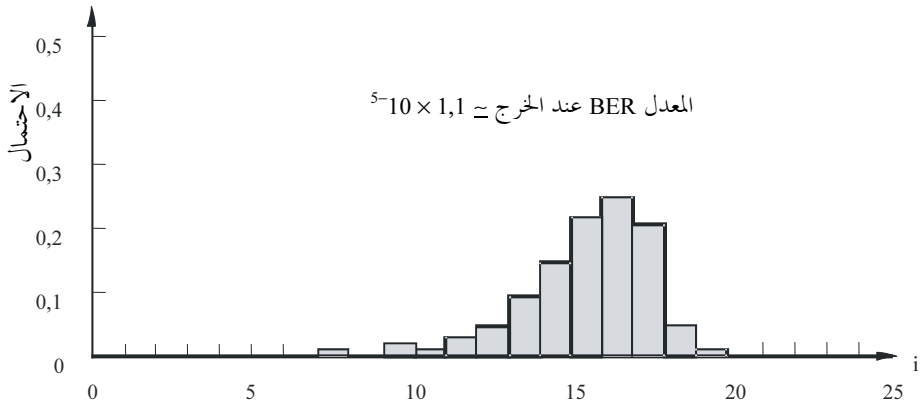
تعتبر تركيبة تقنيات التشفير التلافيفي وتقنيات فيتربي لفك الشفرة مخططاً FEC نموذجياً يطبق في عدة أنظمة ساتلية.

وتتضمن هذه الطريقة تخزين تتابعات من البتات في دائرة، ثم مقارنة هذه التتابعات مع القطار الرقمي المستقبل من أجل تحديد التتابع الأقرب إلى أن يكون صحيحاً. وتنتج أحداث الأخطاء عن خرج مفكك الشفرة عن انتقاء تتابع أو مسير غير صحيحين للمعطيات. ويسبب الانتقاء غير الصحيح أخطاء عند خرج مفكك الشفرة لكن هذه الأخطاء لا تحدث بالضرورة متتالية. ويكون طول حدث الخطأ دالة لتشكيلة الكودك لا سيما طول الذاكرة المقابل للمسير. وتتطلب، في العادة، شفرة بمعدل 1/2 وذات 64 حالة، وطول تقييد من 7، طولاً للذاكرة من 37 بتة تقريباً، في حالة الطريقة فيتربي لفك الشفرة. وهذا الطول للذاكرة هو أكبر من أي حدث للخطأ يظهر وفقاً لاحتمال دلالي.

ويبين الشكل 9 النتائج التجريبية لتوزيع الأخطاء مع فك الشفرة FEC وبدونها معبراً عنها بالفواصل الزمنية الخالية من الأخطاء EFI.

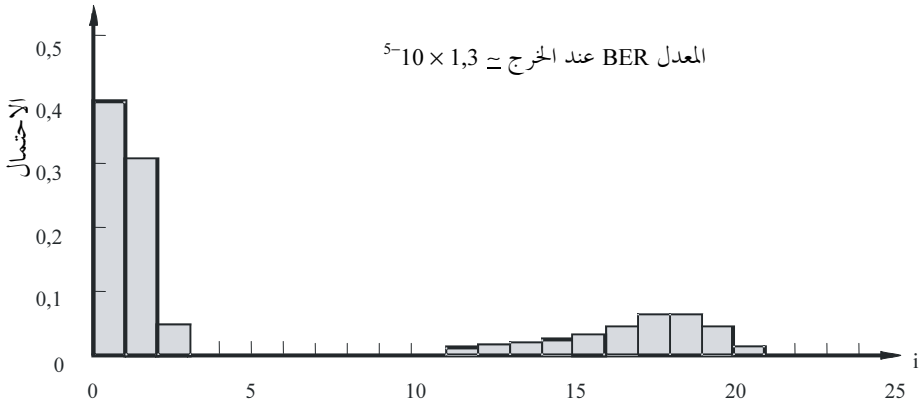
الشكل 9

توزيع الأخطاء مع التصحيح FEC وبدونه



الفاصل الزمني (E_f) بين الأخطاء ($2^i \leq E_f < 2^{i+1}$ bits)

أ) بدون تصحيح الخطأ الأمامي (خطأ عشوائي)



ب) مع تصحيح الخطأ الأمامي (FEC)
(تشفير تلافيفي بمعدل 1/2 (K = 7) وطريقة فيتربي (Viterbi) لفك الشفرة)

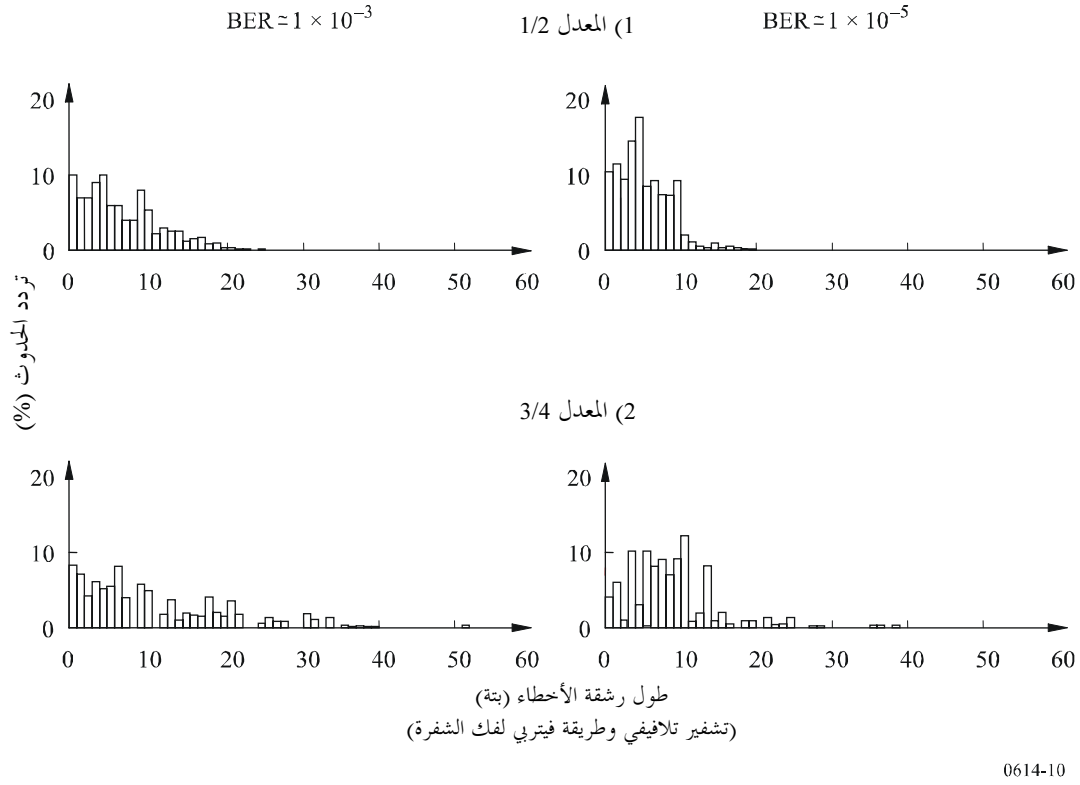
0614-09

يلاحظ هنا فروقات كبيرة: فالتوزيع الأول له ذروة مميزة للتوزيع العشوائي بينما يمتلك التوزيع الآخر ذروتين. وتبين إحدى الذروتين (في الجانب الأيمن) توزيع الفواصل الزمنية بين رشقات الأخطاء وتدل على حدوثها حدوثاً عشوائياً. أما الذروة الثانية (في الجانب الأيسر)، فتبين توزيع الأخطاء في البتات داخل رشقة من الأخطاء.

ويعرض الشكل 10 النتائج التجريبية لتوزيع طول رشقات الأخطاء من أجل المعدلين 1/2 و3/4 عند قيمتين للمعدل BER. ويعرف طول حدث لرشقة من الأخطاء بأنه عدد البتات بين أول خطأ يحدث في الرشقة وآخر خطأ يحدث فيها. ويبين الشكل 11 العلاقة بين متوسط طول رشقة الأخطاء والمعدل BER بعد فك الشفرة.

الشكل 10

توزيع طول رشقات الأخطاء



ويلاحظ في هذه الأشكال أنه كلما زاد معدل الشفرة ومعدل الأخطاء BER كلما طالت مدة رشقات الأخطاء. ويكون عموماً متوسط طول رشقات الأخطاء 5 بتات و10 بتات تقريباً من أجل معدلي الشفرة 1/2 و3/4، على التوالي. وثمة عدد قليل من رشقات الأخطاء يتجاوز طوله 20 بتة. وتجدر الإشارة إلى أن كل البتات داخل رشقة من الأخطاء ليست بالضرورة أخطاء ويمكن اعتبار معدل الأخطاء داخل رشقة من الأخطاء على أنها تساوي 1/2 تقريباً، أي أن معدل عدد الأخطاء المدرجة في رشقة الأخطاء هي 2 أو 3 لمعدل تشفير من 1/2 و5 تقريباً لمعدل من 3/4، وقد أجريت التجارب أعلاه في محطة أرضية INTELSAT ذات معيار E1 تشغل وفقاً لأسلوب عروة الرجعة الساتلية وتستخدم موجة حاملة IBS بمعدل 64 kbit/s.

نتيجة لما سبق من نقاش، تعطي العلاقة التالية المعدل BER بعد فك الشفرة:

$$P_e \text{ (المعدل BER بعد فك الشفرة)} = \frac{L_b / 2}{L_b + E_{fb}}$$

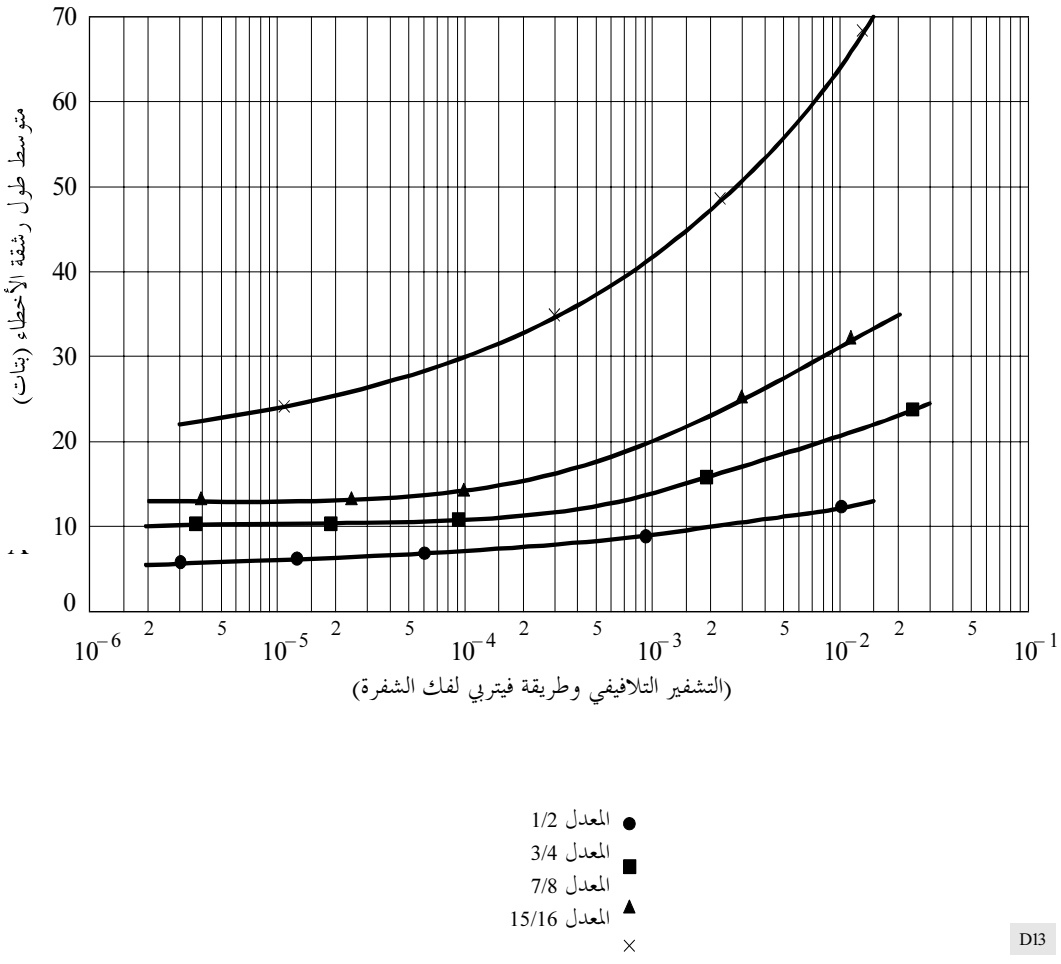
حيث يمكن استخلاص متوسط الفاصل الزمني بين رشقات الأخطاء على النحو التالي:

$$E_{fb} = \left(\frac{1}{2\,P_e} - 1\right) L_b \simeq L_b / 2\,P_{ee}$$

وL_b هو متوسط طول رشقة الأخطاء.

الشكل 11

العلاقة بين متوسط طول أحداث رشقات الأخطاء والمعدل BER



وثمة تأثير آخر يجب أن يؤخذ في الاعتبار وهو العلاقة بين بنية رشقة الأخطاء وتعدد إرسال القنوات ذات 64 kbit/s بالمعدلات الأولية (2 048 kbit/s) أو معدلات أعلى. ويبين ذلك في الشكلين 12 أ) و12 ب) من أجل معدل BER يساوي 10^{-6}. فيمثل في الشكل 12 أ) رسم بياني لعدد الأخطاء في كل رشقة من أجل إشارة مركبة بمعدل 1 920 kbit/s (30 فجوة زمنية) في قطار من 2 048 بتة يعود إرسالها وفقاً للتوصية ITU-T G.704 إلا أن عدد الأخطاء في الرشقة داخل قناة فردية ذات 64 kbit/s يميل إلى التناقص كما بينه الشكل 12 ب).

3.2.5 التشفير التلافيفي–وفك الشفرة التتابعي

يستخدم فك الشفرة التتابعي خوارزمية احتمالية لفك الشفرة يجري فيها حساب طول المسير بالنسبة فقط إلى مسير تمت دراسته. ويرتكز القرار المتعلق بالمسير على طول المسيرات التي تمت دراستها.

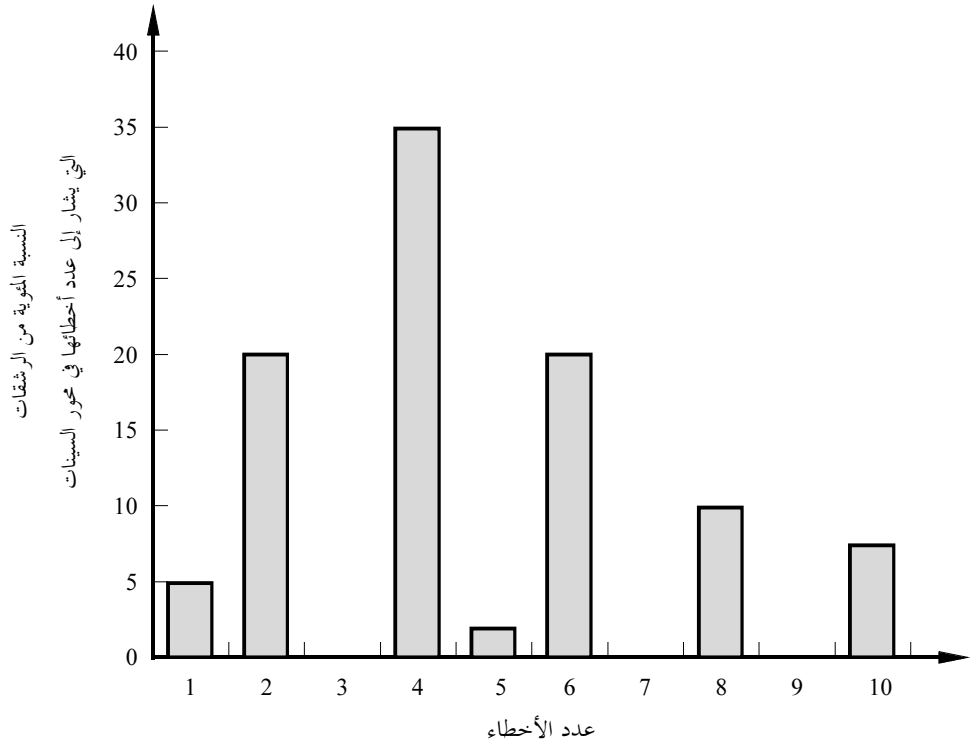
خلافاً لطريقة فيتربي في فك الشفرة التي يتزايد فيها تعقيد الحساب تزايداً أُسِّياً مع طول التقييد، فإن فك الشفرة التتابعي يسمح بطول تقييد أطول بكثير يتحسن فيه المعدل BER تحسناً ملموساً. ويتم ذلك لأن المعدل BER يتناقص في الشفرة التلافيفية تناقصاً أُسياً مع طول التقييد.

تعتبر خوارزمية فانو (Fano) وخوارزمية التكديس من بين مختلف أنماط خوارزميات فك الشفرة التتابعي الأكثر استعمالاً. وتعنى هذه الفقرة بالخوارزمية الأخيرة. وتعود الأخطاء عند خرج مفكك الشفرة بشكل رئيسي إلى فيض الذاكرة في المكدس و/أو الفائض في فترة فك الشفرة.

ويبين الشكل 13 مثالاً لتوزيع الأخطاء عند المعدل BER بعد فك الشفرة يساوي 3×10^{-4} تقريباً لمفكك شفرة تتابعي بمعدل 1/2 مع خوارزمية تكديس تعمل بمعدل للمعلومات من 64 kbit/s. ويلاحظ أن خرج مفكك الشفرة يتضمن عدداً من رشقات الأخطاء الطويلة يتجاوز كل منها 65 بتة وبعض الأخطاء العشوائية بين رشقات طويلة من الأخطاء.

الشكل 12 أ

الرسم البياني لعدد الأخطاء في كل رشقة

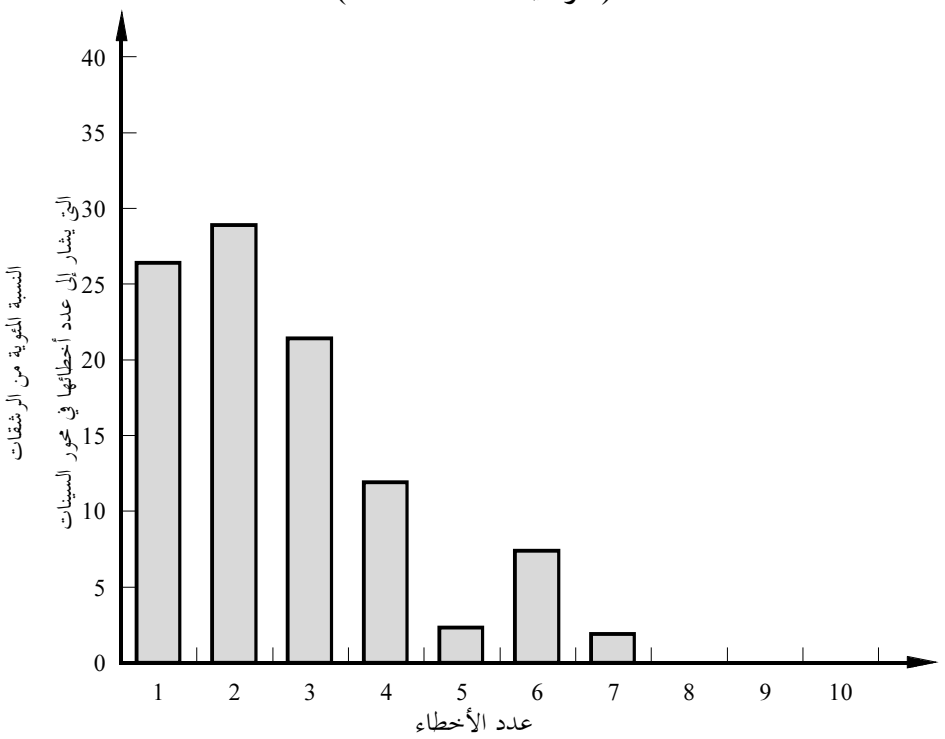


$BER = 10^{-6}$

التصميم FEC (معدل 1/2) يطبق على معدل بتات بقيمة 2 048 kbit/s

الشكل 12 ب)

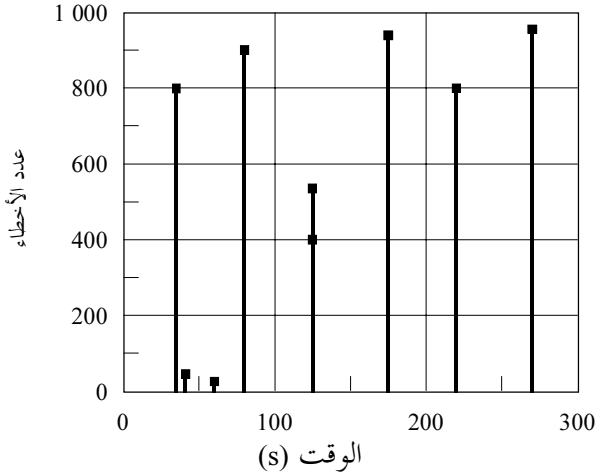
الرسم البياني لعدد الأخطاء في كل رشقة في قناة بمعدل 64 kbit/s داخل تعدد إرسال بمعدل أولي من 2048 kbit/s
(التوصية ITU-T G.704)



$BER = 10^{-6}$
التصميم FEC (معدل 1/2) يطبق على معدل أولي من 2048 kbit/s

الشكل 13

توزيع الأخطاء عند خرج مفكك الشفرة التتابعي



3.5 التأثيرات على الدقائق المنحطة والثواني شديدة الأخطاء والثواني الخاطئة

1.3.5 نقاش حول النوعية

تكون تأثيرات رشقات الأخطاء التي يسببها التشفير التلافيفي FEC على النحو التالي:

الدقائق المنحطة (DM)

تحتوي الدقيقة المنحطة على خمسة أخطاء أو أكثر. ويمكن، في حالة طريقة "فيتربي" لفك الشفرة بمعدل 3/4 والذي غالباً ما يسبب رشقات من خمسة أخطاء أو أكثر، أن تتزايد احتمالات الدقائق المنحطة بالنسبة إلى الأخطاء العشوائية حتى ضمن متوسط معدل الأخطاء نفسه. أما في حالة طريقة فيتربي لفك الشفرة بمعدل 1/2، فإن هذه الزيادة قد تكون أصغر.

الثواني شديدة الأخطاء (SES)

تحتوي ثانية شديدة الأخطاء (SES) على 65 خطأ أو أكثر. ولما كان عدد الأخطاء في رشقة أخطاء واحدة تعود إلى التصحيح FEC بأقل من 65 خطأ بكثير، فإن ثانية واحدة SES قد تحتوي على عدة عشرات من رشقات الأخطاء. ومن الممكن ألا يؤدي ذلك إلى فرق دلالي في احتمالات الأخطاء SES بين رشقات الأخطاء والأخطاء العشوائية.

الثواني الخاطئة (ES)

عندما يحدث تركيز للأخطاء، كما هو الحالة بالنسبة إلى قناة مع تصحيح FEC، فإن احتمالات الثواني الخاطئة (ES) تتناقص بالنسبة إلى الأخطاء العشوائية مع متوسط نسبة الأخطاء نفسه.

ويكون تأثير رشقات الأخطاء أقل لأن أكثرية الوصلات الساتلية تعدد الإرسال في عدة قنوات وأن رشقات الأخطاء تتشتت على هذه القنوات متعددة الإرسال.

2.3.5 القياسات

1.2.3.5 التشفير BCH

لقد أجريت القياسات على مطراف للحركة TDMA بمعدل 120 Mbit/s في نظام EUTELSAT، يشغل وفقاً لأسلوب الرشقة وعروة مغلقة عند التردد المتوسط (IF) حيث تضاف الضوضاء. ويولد محلل للمعدل BER تتابعاً شبه عشوائي بمعدل 64 kbit/s، وتقاس النسب المئوية للثواني الخاطئة (ES) والدقائق المنحطة (DM) والثواني شديدة الأخطاء (SES) وفقاً للتوصية ITU-T G.821.

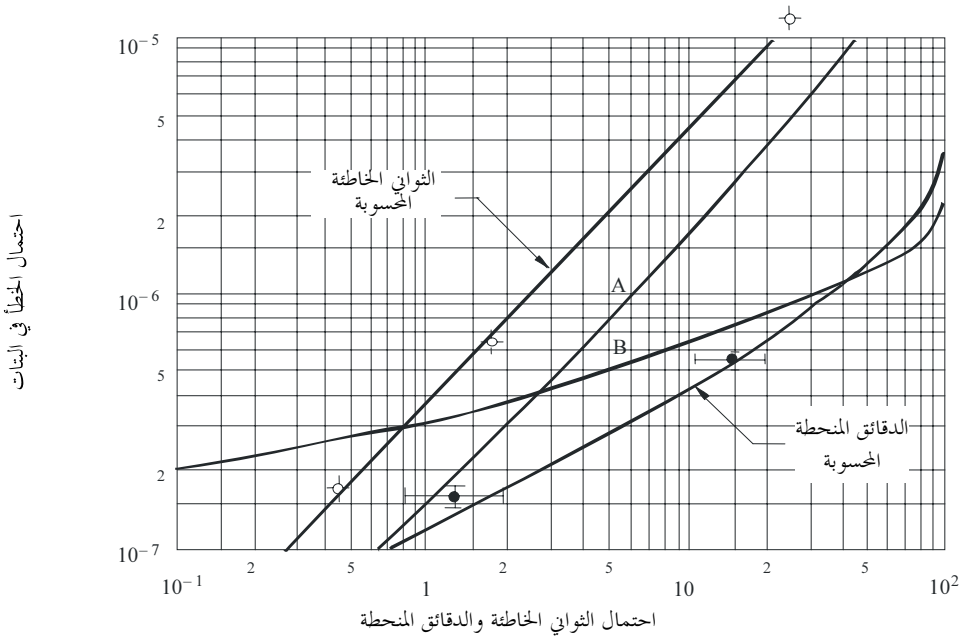
وأجريت القياسات من أجل الفجوتين الزمنيتين المصاحبتين للحالتين أ) ود) المذكورتين في الفقرة 1.2.5، ولوحظ أن الإحصائيات المتعلقة بالثواني شديدة الأخطاء وبالدقائق المنحطة (الشكل 14) كانت تبتعد عن قانون بواسون ابتعاداً ملموساً.

ولوحظ فيما يتعلق بالثواني SES زحزحة هامشية على التوزيع في حالة النسب المئوية الصغيرة من الوقت حين يستعمل التصحيح FEC (الشكل 15). إلا أن هذه الزحزحة صغيرة جداً وغير ذي دلالة إذا ما لوحظ تسطيح المنحني حتى ولو أثبت حساب فترات الثقة أن زحزحة فعلية قد حدثت.

ولوحظ أن هذه القياسات تتوافق مع التنبؤ النظري الموضح في الفقرة 2.4.5 توافقاً جيداً.

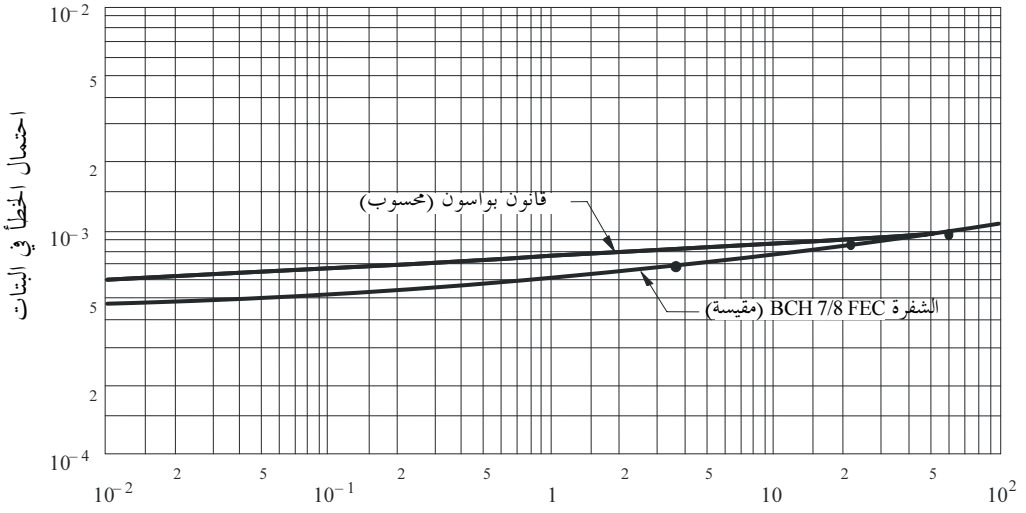
الشكل 14

إحصائيات الثواني الخاطئة والدقائق المنحطة عند معدل 64 kbit/s



الشكل 15

احتمال ثوان شديدة الأخطاء



احتمال ثوانٍ شديدة الأخطاء – الفجوة الزمنية أ)

0614-15

2.2.3.5 التشفير التلافيفي – طريقة فيتربي لفك الشفرة

أجريت قياسات مشابهة من أجل التشفير التلافيفي وطريقة فيتربي لفك الشفرة وهي مبينة في الأشكال من 16 إلى 19. وحققت النتائج، كما هو ملاحظ، بالنسبة إلى المعدلين 1/2 و3/4 في kbit/s 64 والمعدل 3/4 لقناة واحدة ذات kbit/s 64 في قطار مركب بمعدل kbit/s 2 048.

3.2.3.5 التشفير التلافيفي – وفك الشفرة التتابعي

تدل المربعات في الشكل 18 إلى الثواني ES والدقائق DM فيما يتعلق بمفكك الشفرة التتابعي داخل قناة ذات ضوضاء غوسية بيضاء مضافة (AWGN). ويلاحظ أن أداء الثواني ES لمفكك الشفرة التتابعي هو أفضل من أداء النظام غير المشفر ومواز للنتيجة المحققة في نظام غير مشفر. إلا أن أداء الدقائق المنحطة DM مختلف تماماً عن أداء النظام غير المشفر لكنه مجاور للأداء في طريقة فيتربي لفك الشفرة.

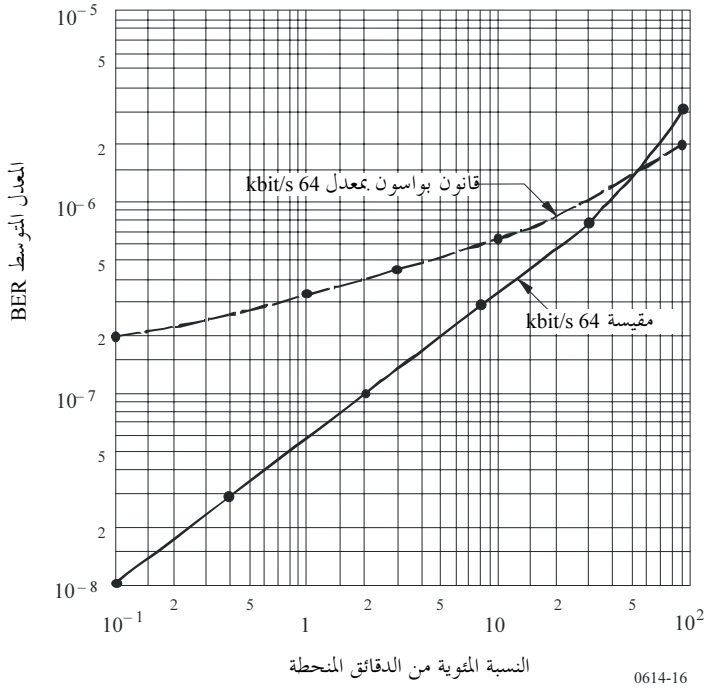
ويعتبر الأداءان ES وDM لمفكك الشفرة التتابعي أفضل من طريقة فيتربي لفك الشفرة. هذا لأن مفكك الشفرة التتابعي يدخل بالنسبة إلى متوسط المعدل BER نفسه. وكما تصفه الفقرة 3.2، رشقات أطول من الأخطاء مما يحدث في طريقة فيتربي لفك الشفرة، وقد تتجاوز هذه مئات البتات ورشقات قصيرة من الأخطاء العشوائية بين رشقات الأخطاء الطويلة.

ومن ثم، فإن الثواني الخاطئة لمفكك الشفرة التتابعي هي أفضل مما هي عليه في طريقة فيتربي لفك الشفرة إذ أن هذه الأخيرة تدخل عدداً من الأخطاء العشوائية ورشقات قصيرة من الأخطاء. إضافة إلى ذلك، ولما كان تعريف الدقائق المنحطة (DM) يستثني أحداث الثواني SES، فإن الأداء DM لمفكك الشفرة التتابعي هو أعلى مما هو عليه في طريقة فيتربي لفك الشفرة.

أما مربعات الشكل 19، فتعرض أداء الثواني SES لمفكك الشفرة التتابعي. وفيما يتعلق بالمعدلات BER المعتدلة أو المنخفضة، تتناقص النسبة المئوية للثواني SES في مفكك الشفرة التتابعي تناقصاً تدريجياً وهي أقل من النسبة في طريقة فيتربي لفك الشفرة. وهذا يعود إلى أن مفكك الشفرة التتابعي يدخل، عموماً، عدداً من رشقات الأخطاء أطول من 65 بتة.

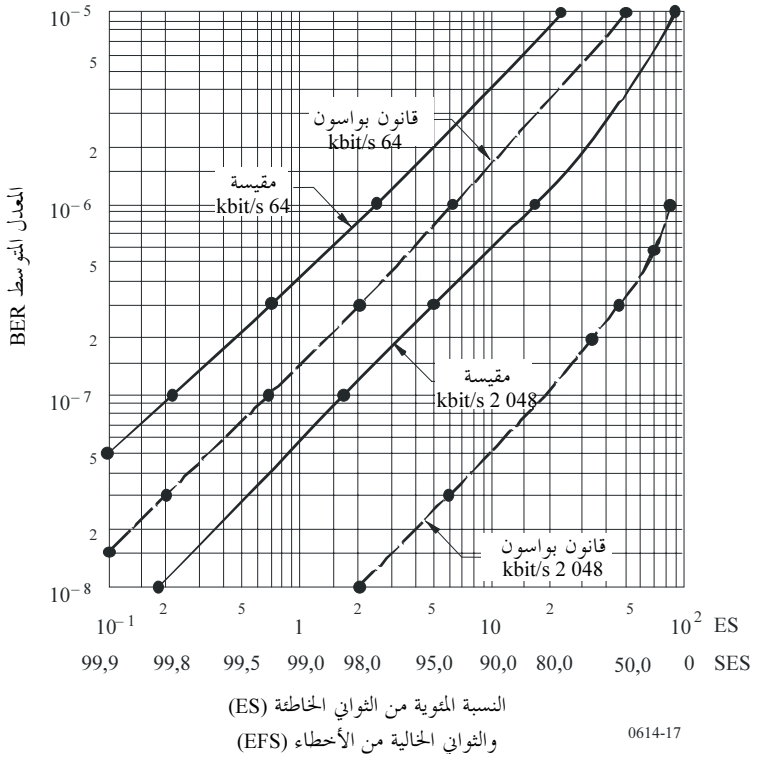
الشكل 16

النسبة المئوية من الدقائق المنحطة لقناة متعددة الإرسال بمعدل 64 kbit/s
(التوصية ITU-T G.704) داخل قطار من البتات بمعدل 2 048 kbit/s
(التصحيح FEC بمعدل 3/4، ومخلط ذاتي التزامن
موافق لمواصفات INTELSAT IDR)



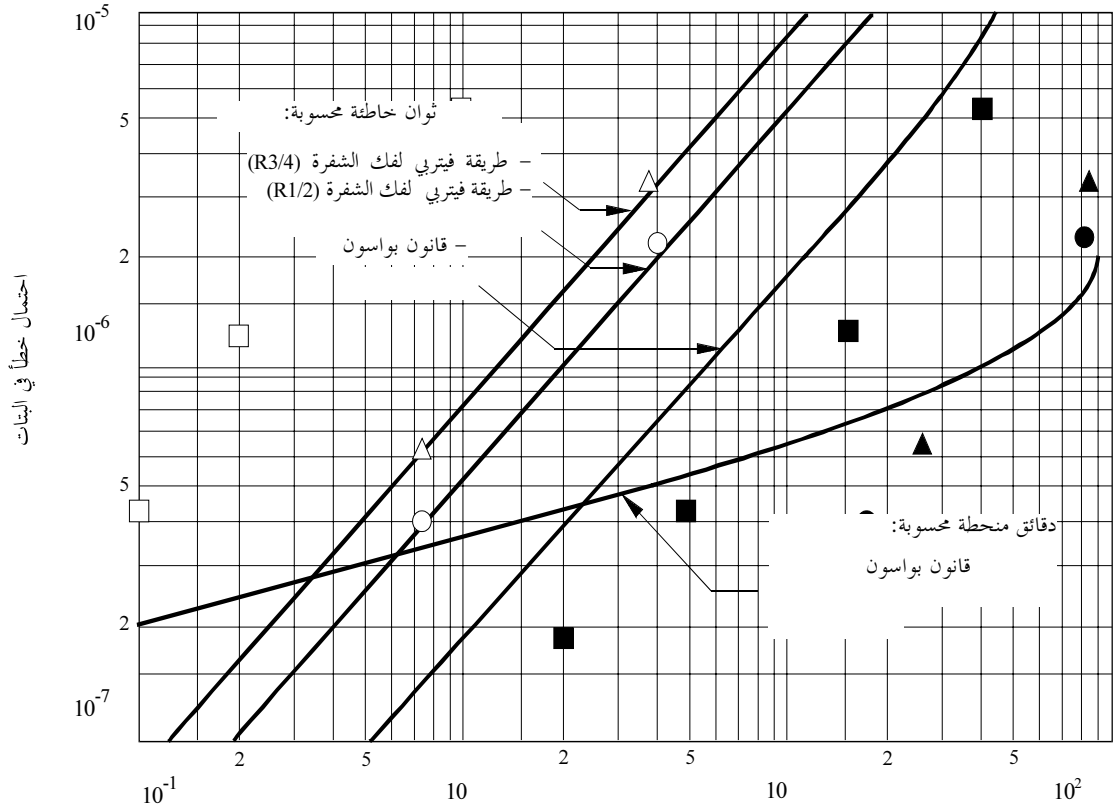
الشكل 17

النسبة المئوية من الثواني الخاطئة والثواني الخالية من الأخطاء من أجل قناة متعددة الإرسال ذات kbit/s 64 (التوصية ITU-T G.704) في قطار بمعدل kbit/s 2 048 وقطار مركب بمعدل kbit/s 2 048 (التصحيح FEC بمعدل 3/4، ومخلط ذاتي التزامن موافق لمواصفات INTELSAT IDR)



الشكل 18

إحصائيات الثواني الخاطئة والدقائق المنحطة في قطار من البتات بمعدل 64 kbit/s
(لا تخليط للمعطيات أو تشفير تفاضلي)



معطيات مقيسة (ثوان خاطئة):

○ طريقة فيتربي لفك الشفرة (R1/2)

△ طريقة فيتربي لفك الشفرة (R3/4)

□ فك شفرة تتابعي مع خوارزمية تكديس (R1/2)

معطيات مقيسة (دقائق منحطة):

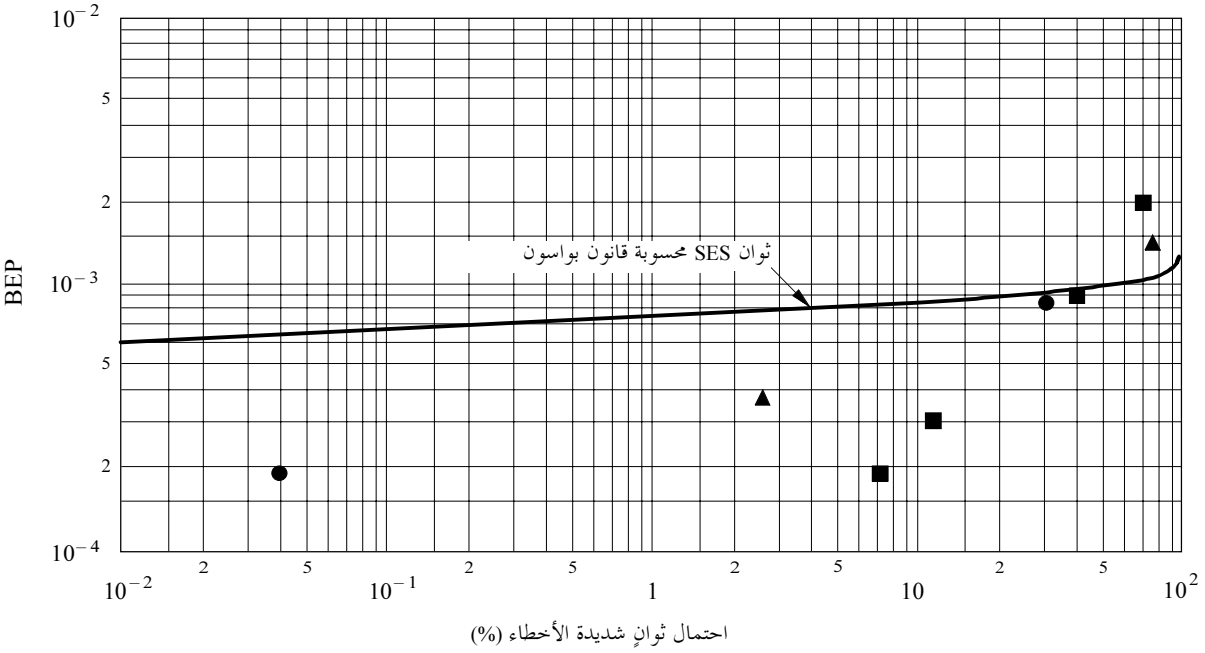
● طريقة فيتربي لفك الشفرة (R1/2)

▲ طريقة فيتربي لفك الشفرة (R3/4)

■ فك شفرة تتابعي مع خوارزمية تكديس (R1/2)

الشكل 19

احتمال ثوان شديدة الأخطاء (SES) من أجل قطار بتات بمعدل 64 kbit/s



3.3.5 التحليل الكمي

يبين الشكل 20 احتمال الدقائق المنحطة بدلالة احتمال الخطأ في البتات (BEP) في ثلاث حالات مختلفة من توزيع الأخطاء هي: α وβ_m وβ_w. الحالة α هي الحالة العشوائية المعتبرة في هذا الملحق. أما الحالتين β_m وβ_w فتفترضان أن الأخطاء مجمعة لكن الرشقات نفسها تحدث عشوائياً. وتفترض الحالة β_m (المعتدلة) أن هناك بانتظام ثلاثة أخطاء في كل رشقة. بينما تفترض الحالة β_w (الأسوأ) أن هناك بانتظام 5 أخطاء في الرشقة. ويعرض الشكل العلاقات المستعملة لحساب المنحنيات. وهي بالفعل علاقات بواسون تطبق على الرشقات.

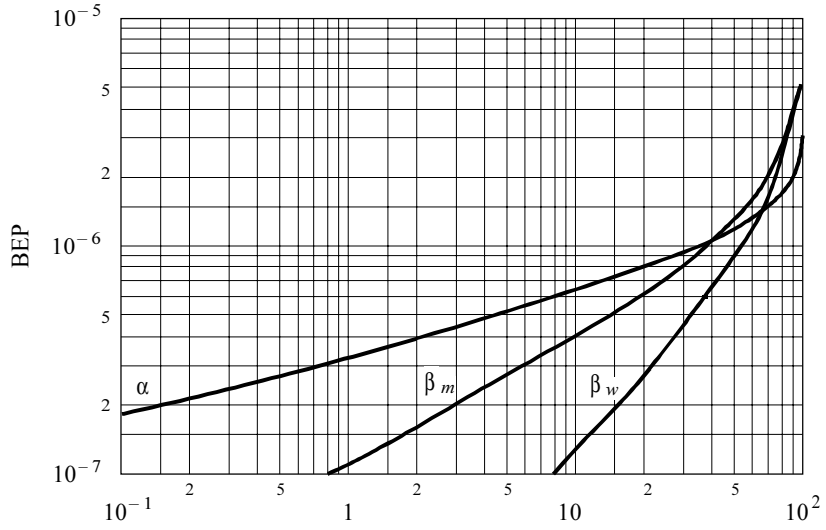
تتزايد الدقائق المنحطة مع اتساع الرشقات في المنطقة ذات الاحتمال المنخفض BEP. وإذا تضمنت الرشقات إضافة إلى ذلك وبشكل منتظم 5 أخطاء في الرشقة الواحدة فإن أية دقيقة تستقبل رشقة تعتبر منحطة كما لو كانت هناك 5 أخطاء فقط. لكن إذا كان هناك عدد أكبر من الأخطاء في كل رشقة فإن الرشقات تفصل لاحقاً ويكون عدد أكبر من الدقائق خالياً من الرشقات. ولذا تعتبر الحالة β_w أسوأ حالة لتوزيع هذه المعلمة.

وإذا كانت توزيعات الأخطاء في الشكلين 10 أ) و10 ب) (بمعدل $BER = 10^{-5}$) منتظمة تقريباً واعتبر حدوث رشقات الأخطاء حدثاً مستقلاً، فمن الممكن حساب الدقائق المنحطة وأداء الثواني الخالية من الأخطاء (EFS).

يلخص الجدول 6 نتائج الحسابات. وتدرج أيضاً في الجدول حالة الأخطاء المزدوجة النموذجية للأنظمة ذات التشفير التفاضلي. وقد أجريت الحسابات بناء على الفرضية التي تكون فيها أداءات الدارة مطابقة، من وجهة نظر المعدل BER، للنموذج د) من الشكل 3. وتبين القيم في الجدول 6 أن رشقات الأخطاء يمكن أن تؤثر في أداءات الدارة الرقمية تأثيراً دلالياً بالنسبة إلى المتطلبات المذكورة في التوصية ITU-T G.821. إلا أن هذا التحليل لا يأخذ في الاعتبار تأثير بنية تعدد الإرسال. فيحتاج هذا المجال لمزيد من الدراسة. وينبغي، في انتظار نتائج هذه الدراسات، أن يعنى في تصميم الأنظمة التي تستعمل التصحيح FEC، بالاستجابة للأهداف الخاصة بالدقائق المنحطة (DM).

الشكل 20

احتمال دقائق منحطة تفترض احتمال خطأ ثابت في البتات



احتمال 5 أخطاء أو أكثر في 384×10^4 بتة (أي احتمال دقائق منحطة من أجل معدل 64 kbit/s (%))

الحالة α: قناة الخطأ العشوائي $x = 384 \cdot 10^4 P$

$$P(DM) = 1 - \left(1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \frac{x^4}{4!}\right) e^{-x}$$

الحالة βm: قناة رشقات الأخطاء المعتدلة (3 أخطاء في كل رشقة) $x = 384 \cdot 10^4 P/3$

$$P(DM) = 1 - (1 + x)\, e^{-x}$$

الحالة βw: أسوأ حالة لقناة بالرشقات (5 أخطاء في كل رشقة) $x = 384 \cdot 10^4 P/5$

$$P(DM) = 1 - e^{-x}$$

حيث:

P: احتمال الخطأ في البتات

$P(DM)$: احتمال الدقائق المنحطة

الجدول 6

الهدف	الأداء (النسبة المئوية من الوقت المتيسر)				
	التوصية ITU-T G.821	أخطاء وحيدة	أخطاء مزدوجة	رشقات أخطاء (الشفرة 1/2)	رشقات الأخطاء (الشفرة 3/4)
دقائق منحطة	2,0	1,87	2,67	6,2	6,7
ثوان خاطئة	1,6	1,56	1,4	1,2	1,16

4.5 المحاكاة بالنماذج الرياضية

يجب من أجل الإثبات بأن نظاماً معيناً يستجيب لشروط التوصية ITU-T G.821 أن يعرف العنصران التاليان:

- الإحصائيات المتعلقة باحتمال الخطأ في البتات BEP وفقاً للنسب المئوية من الوقت؛

- النموذج الرياضي الذي تحسب بواسطته الثواني الخاطئة (ES) والدقائق المنحطة (DM) والثواني شديدة الأخطاء (SES)، من أجل وصف توزيع الأخطاء عند المعدل 64 kbit/s، مع مراعاة نمط التصحيح FEC المطبق وطريقة تعدد الإرسال المستعملة.

وقد تمت دراسة النموذجين التاليين.

1.4.5 توزيع نايمان–A (Neyman-A) الساري

ثمة نموذج إحصائي يمكن استعماله لوصف حشد الأحداث الاحتمالية في توزيع نايمان–A الساري. ويمكن لهذا التوزيع أن يصف بشكل خاص وصول الأخطاء على رشقات بسبب تأثيرات الانتشار والتداخل على الأنظمة الرقمية الساتلية. ويضمن تطبيق هذا النموذج استقلال رشقات الأخطاء أي الطابع العشوائي لوصولها والطابع العشوائي لمدة الرشقات (مع أن الأخطاء تصل في بعض المخططات للتصحيح FEC على رشقات من 3 أو 4 عن خرج مفكك الشفرة، وأن متوسط عدد الأخطاء الفعلي على قناة معينة أزيل عنها تعدد الإرسال يحتاج إلى التقدير انطلاقاً من معرفة النظام).

وتعطي العلاقة التالية نموذج ''نايمان–A'' الساري:

$$P(n) = \frac{(BEP / A)^n}{n!} \, e^{-NA} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{k^n}{k!} \, (NA)^k e^{-kBEP/A}$$

حيث:

$P(n)$: احتمال أن يحدث عدد من الأخطاء n في البتات N المرسلة

NA: متوسط عدد الرشقات

BEP/A: متوسط قيمة الأخطاء في كل رشقة.

يمكن بهذا أن يحدد احتمال الثواني الخالية من الأخطاء (EFS) والدقائق المنحطة (DM)، على التوالي، بواسطة العلاقتين التاليتين:

$$P(o) = e^{-NA} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(NA)^k}{k!} e^{-kBEP/A} \qquad \text{مع } N = 64 \text{ kbit/s}$$

$$P(DM) = 1 - \sum_{n=0}^{4} \frac{1}{2} P(n) \qquad \text{مع } N = 3{,}84 \text{ Mbit/s}$$

2.4.5 التمثيل التحليلي لشفرة BCH

عندما يعرف نظام الإرسال (نمط التصحيح FEC المستعمل ومخطط تعدد الإرسال، إلخ.)، يمكن أن تستخلص العبارات التحليلية بدلاً من إجراء القياسات من أجل التنبؤ بالإحصائيات الخاصة بالمعلمات ES وDM وSES وفقاً لاحتمالات الخطأ BEP.

ويمكن استخلاص العبارات التحليلية والحصول على التنبؤات في حالة الشفرة BCH 7/8 مع التصحيح FEC المستعملة في الأنظمة TDMA من INTELSAT وEUTELSAT المشغلة بمعدل 120 Mbit/s (انظر الجدول 7).

الجدول 7

ملخص العبارات المستخدمة لحساب النسب المئوية للثواني ES والدقائق DM والثواني SES

BCH 7/8

النسبة المئوية من الثواني الخاطئة (ES)	$P = 100 \times \{(1 - e^{-L})\} \times u$ $L = \text{BEP} \times 42\,333{,}3$ $u = 0{,}667$ في الحالة أ) $u = 0{,}881$ في الحالة د)
النسبة المئوية من الدقائق المنحطة (DM)	$P = 100 \times \{1 - (1 + L + L^2/2! \times (1 - u2) + L^3/3! \times (1 - u3) + L^4/4! \times (1 - u4)) \times e^{-L}\}$ $L = \text{BEP} \times 2{,}54 \times 10^6$ $u3 = 0{,}506$ $u2 = 0{,}227$ في الحالة أ) $u3 = 0{,}510$ $u2 = 0{,}111$ في الحالة د)
النسبة المئوية من الثواني شديدة الأخطاء (SES)	$P = 100 \times \{1 - (1 + L + L^2/2! + ... + L^{38}/38!) \times e^{-L}\}$ $L = \text{BEP} \times 42\,333{,}3$

5.5 التأثير في تصميم الأنظمة داخل النطاق GHz 14/11

يعتبر أن مقياس التقييد للقناع المحدد في التوصية ITU-R S.614 في حالة الوصلة الساتلية غير المشفرة، هو بالنسبة إلى الأنظمة عند GHz 14/11 والتي تعمل في المناطق المناخية الأوروبية، الاحتمال BEP ''طويل الأجل''. وهذا يعود إلى أن الفرق في النسب *C/N* المطلوبة عند دخل مفكك الشفرة للمحطة الأرضية من أجل الحصول على احتمالين BEP من 10^{-7} و10^{-3} هو أكبر من الفرق المقابل المتوقع بين سويات الخبو بين 10% و0,2% من الشهر الأسوأ (الإجمالي).

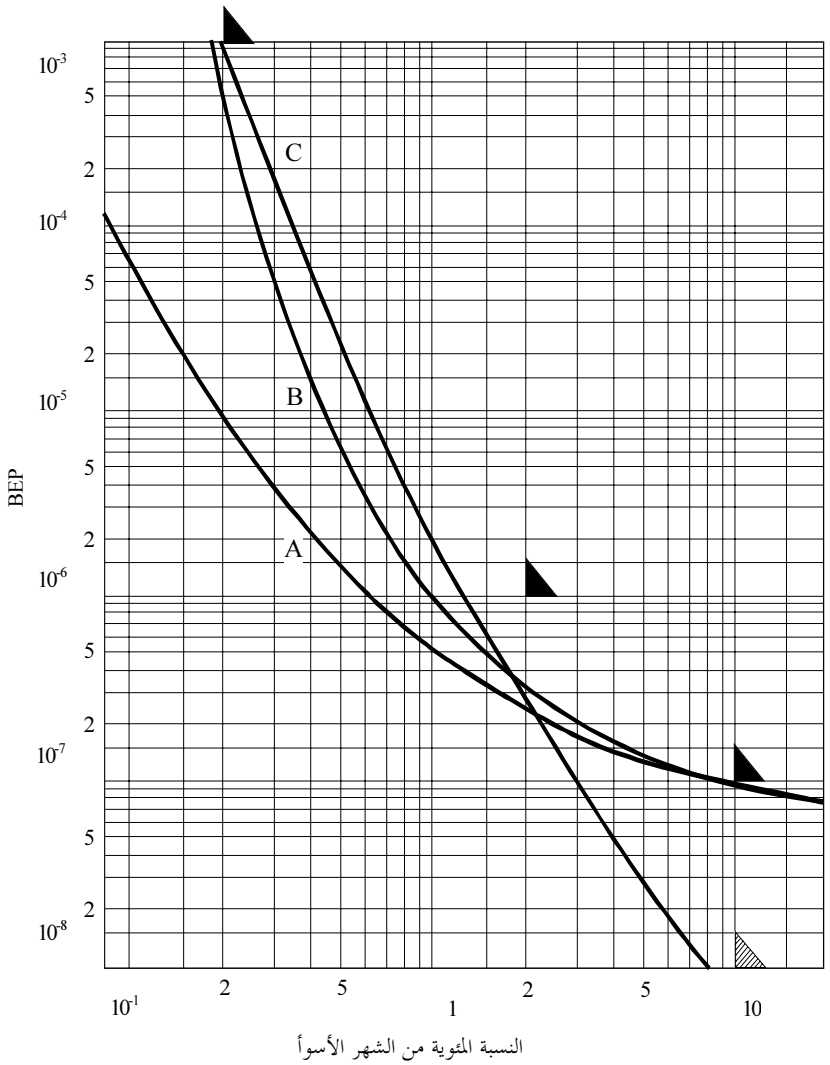
ويبين الشكل 21 (المنحنيان A وB)، على سبيل المثال، أداء نظام يشغل في النطاق GHz 14/11 وتكون خصائصه على نحو يستجاب فيه للمقياس طويل المدى الذي يساوي 10^{-7}. ويتعلق المنحنيان A وB بالأداء معبراً عنه بالنسب المئوية من الوقت، عندما يتأثر النظام بإحصائيات الانتشار النموذجية للمناخ الساحلي الأوروبي (المنحنى A) والمناخ الألبي–المتوسطي (المنحنى B).

وعندما يستعمل التصحيح FEC، يتطلب الوضع تحليلاً أكثر دقة. فمن ناحية، يكون الفرق في النسب ($C/N + I$) المطلوبة عند دخل مفكك الشفرة من أجل سويتي الاحتمال BER أصغر مما هو عليه في الحالة غير المشفرة بسبب كسب التشفير، وهذا يعني تقييد التصميم من خلال الشروط قصيرة المدى، ومن ناحية أخرى، فإن تحقيق أداء أفضل من معدل BER بقيمة 10^{-7} ضروري أثناء نسبة 10% من الشهر الأسوأ بهدف تعويض حدوث الأخطاء على رشقات، وهذا ما يفرض شروطاً لأداء أعلى في ظروف السماء الصافية.

ويمثل الشكلان 21 و22 هذا الوضع: فيبين الشكل 21 (المنحنى C) أداء وصلة ساتلية مع الشفرة الفدرية BCH 7/8 بينما يبين الشكل 22 (المنحنيان A وB) أداء وصلة مشفرة تشفيراً تلافيفياً مع معدلي التصحيح FEC 1/2 و3/4، على التوالي، عندما تحدد أبعاد النظام بهدف الاستجابة للمقياس قصير الأجل فيما يتعلق بإحصائيات الانتشار للمناخ الألبي–المتوسطي الذي يمثل أسوأ حالة في أوروبا.

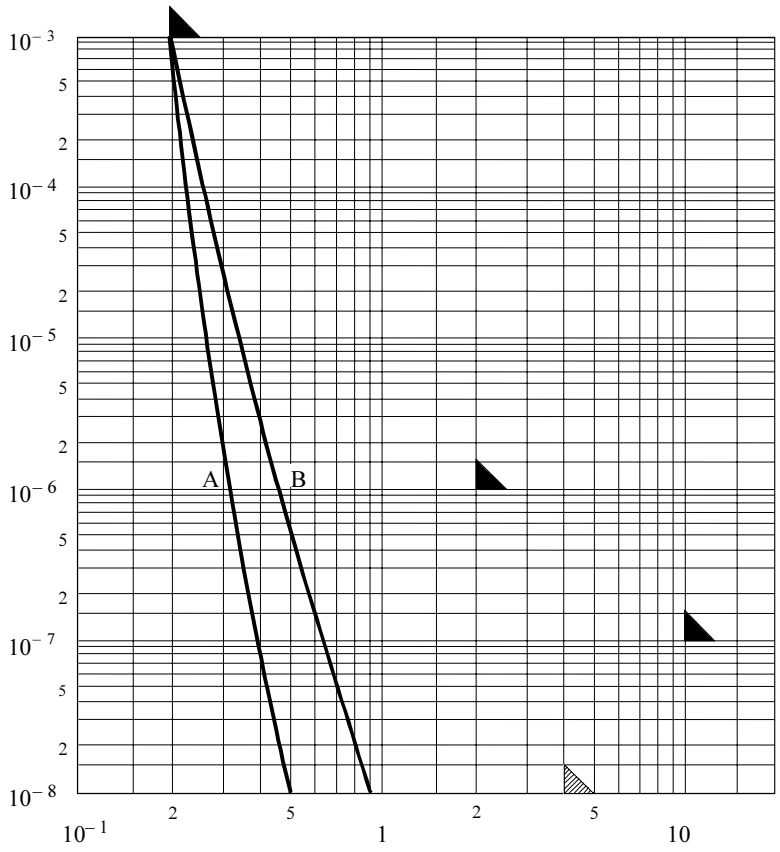
الشكل 21

أداء نظام يشغل في النطاق GHz 14/11 وهو مصمم من أجل الاستجابة لأهداف هذه التوصية



الشكل 22

أداء نظام يشغل في النطاق GHz 14/11 وهو مصمم من أجل الاستجابة لأهداف هذه التوصية



النسبة المئوية من الشهر الأسوأ

القيم الموصى بها في هذه التوصية

تشفير تلافيفي

المنحنى A: تصحيح FEC تلافيفي بمعدل 1/2 مناخ ألبي متوسطي

المنحنى B: تصحيح FEC تلافيفي بمعدل 3/4 مناخ ألبي متوسطي

5.6 الاستنتاجات

تناقش هذه الفقرة خصائص توزيع الأخطاء في أنظمة الاتصالات الساتلية التي تستعمل عدة أنماط من التصحيح FEC كما تناقش تأثيرات هذه الخصائص على الدقائق المنحطة (DM) والثواني شديدة الأخطاء (SES) والثواني الخاطئة (ES) المستخدمة لتعريف التوصية ITU-T G.821 والتي قد تم تحليلها.

- يسبب التصحيح FEC والتشفير الفوري والتشفير التلافيفي أخطاء تتميز بتوزيع بالرشقات.
- قد يكون احتمال الدقائق المنحطة (DM) في النظام FEC أكبر مما يكون عليه في النظام بدون تصحيح FEC وفقاً للمعدل BER نفسه.
- ليس ثمة فارق ملحوظ في احتمال الثواني شديدة الأخطاء (SES) للمعدل BER نفسه، أكان التصحيح FEC مستعملاً أم غير مستعمل.
- يكون احتمال الثواني الخاطئة (ES) أقل في النظام FEC مما هو عليه في النظام بدون تصحيح FEC من أجل المعدل BER نفسه.
- قد يتناقص تأثير رشقات الأخطاء عندما تتضمن الوصلة الساتلية عدداً من القنوات متعددة الإرسال.
- يمكن محاكاة توزيع الأخطاء بالنماذج الرياضية بواسطة تمديد توزيع بواسون. ويحتاج هذا البند إلى دراسة لاحقة.