التوصيـــة ITU-R S.1522-1

أثر خسارة الوقت اللازم لاسترداد التزامن في التيسر في المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية

(المسألة ITU-R 73/4)

(2005-2001)

النطاق

الوقت اللازم لاسترداد الخدمة هو عامل مهم يجب مراعاته عند تحديد الحاجة إلى تيسر الخدمة. وتقدم هذه التوصية المستوى النموذجي *لنسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* لدى النظر في فقدان التزامن والوقت اللازم النموذجي لاسترداد التزامن وعتبة فقدان التزامن.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

نظراً إلى

أ) أن الآثار المتجمعة لتيسر المعدات والوصلات تحدد عدم تيسر المسار الرقمي المرجعي الافتراضي؛

ب) أن عدم تيسر المعدات في بعض الحالات قد لا يكون راجعاً إلى تعطلها؛

ج) أن التوصية ITU-R S.521 تنص على أن المسار الرقمي المرجعي الافتراضي يمكن أن يشمل وظائف مثل: التشكيل/إزالة التشكيل وتصحيح الأخطاء والتخزين المؤقت للمعطيات والمعالجة التي يمكن تنفيذها في مطراف العميل أو معدات المحطة الأرضية؛

د) أن المسار الرقمي المرجعي الافتراضي قد يدعم تطبيقات مثل الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين، التي تحتوي على أنظمة تشفير ذات طبقات متسلسلة قد تشمل، في جملة أمور، أمن العنوان وضغط المعطيات وتصحيح الأخطاء؛

هـ) أن المسار الرقمي المرجعي الافتراضي قد يشمل أيضاً تطبيقات رقمية تستخدم تقنيات تشكيل وتشفير أخرى، مثل التشفير الرباعي بزحزحة الطور (QPSK) والإبراق ذي المحول الثماني المرحلة (8-PSK) وتشكيل الاتساع التربيعي (QAM) والتصحيح الأمامي للأخطاء بمعدل 1/2 و3/4 وتشفير REED SOLOMON والتشفير التوربيني إلخ.؛

و) أن هذه التطبيقات تفقد بعد فقدان الإشارة، وأن استعادتها قد تستغرق وقتاً طويلاً بعد استعادة الإشارة؛

ز) أن التوصية ITU-R S.579 تشير إلى أن الوصلة تعتبر غير متيسرة عند فقدان ضبط توقيت الإشارة الرقمية المستقبلة (أو التزامن) لمدة 10 ثوانٍ متتالية أو أكثر. وتعتبر هذه الثواني العشر مدة عدم تيسر وتستمر هذه الفترة إلى حين استعادة ضبط التوقيت (أو التزامن) لمدة عشر ثوانٍ متتالية؛

ح) أن التوصية ITU-R S.579 تحدد تيسر وعدم تيسر المسار الرقمي المرجعي الافتراضي (الذي قد يشمل العناصر الواردة في الفقرة ج) أعلاه)؛

ط) أن التزامن في المسار الرقمي المرجعي الافتراضي للساتل قد يؤثر أيضاً في فقدان التزامن وفي الوقت اللازم لاستعادة الطبقات الأعلى للبروتوكول في الوصلة المرجعية الافتراضية؛

ي) أن تدهور إطار التجمد لأجهزة استقبال الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين يحدث عندما تظهر كتل الأخطاء في صورة الفيديو ويمكن اعتباره عدم تيسر،

توصـــي

1 بمراعاة الوقت اللازم للاستعادة عند تحديد شروط التيسر لأجهزة التفكيك الرقمي للشفرة ذات أنظمة التزامن المعقدة المعرضة لفترات قصيرة من تدهور الإشارات بسبب الانتشار أو التداخل (انظر الملحق 2)؛

2 باستخدام الأجهزة الحساسة لتفكيك الشفرة الرقمية المشكلة، حسبما ورد في الفقرة 1 من المنطوق، في الوصلات المصممة لضمان ألا تسبب المصادر الإحصائية للتداخل زيادات إضافية مكافئة في درجة حرارة ضوضاء الوصلة تؤدي إلى فقدان التزامن؛

3 باستخدام المستويات الواردة في الجدول 1 *لنسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* عند النظر في فقدان تزامن الأجهزة النمطية الرقمية لإزالة التشكيل/لتفكيك الشفرة التي تستخدم عدة تقنيات تشكيل وتشفير لأنظمة ذات معدلات معطيات تبلغ 34 Mbit/s أو أقل؛

الجـــدول 1

المستويات النموذجية *لنسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)*
عند النظر في فقدان التزامن*

التشكيل والتشفير	*نسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* **(dB)**
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (بمعدل 1/2)	3,5
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (بمعدل 3/4)	5,3
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (بمعدل 7/8)	6,0
التشفير الثماني بزحزحة الطور	8,1
تشكيل الاتساع التربيعي – 16	11,0

* مع مراعاة المعطيات المقيسة في الملحق 4.

4 بأن يفترض أن عتبة فقدان التزامن أدنى من هدف الأداء المتدني بمقدار 1 dB في الحالات التي تكون فيها الأحداث الدنيا للأداء أدنى من القيم المذكورة في الفقرة 3 من المنطوق؛

5 باستخدام المدد اللازمة للاستعادة الواردة في الجدول 2 للأجهزة الرقمية لإزالة التشكيل/إزالة التشفير عند تحديد عدم التيسر الناجم عن فقدان التزامن في مسار رقمي مرجعي افتراضي تستخدم بشأن أجهزة رقمية لإزالة التشكيل/إزالة التشفير؛

6 بأنه بالنسبة إلى التطبيقات التي تستخدم أجهزة استقبال الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين ستظهر كتل أخطاء في صورة الفيديو على مستوى عتبي أعلى من مستوى التزامن الوارد في الجدول 1 بمقدار 0,3 dB بالنسبة للتشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل المستوى الموصى به ويبلغ 1/2 و0,6 dB للتشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل المستوى الموصى به الذي يبلغ 3/4 وبمعدل المستوى الموصى به الذي يبلغ 7/8 (انظر الملحق 1).

الملاحظـــة 1 – يمكن أن تسهم مدة وتواتر حدوث الإشارات المتداخلة في تحديد المستوى الأقصى المسموح به للتداخل. ويلاحظ أن حدوث عدة مرات من التداخل القصير المدة يمكن أن يؤدي إلى فترات أطول من عدم التيسر من الفترات الناجمة عن مرات أقل من التداخل الطويل (انظر الملحق 3). وهذا الأثر ونتائج مرات التداخل القصير المدة (1 s >) هما موضوعان جديران بمزيد من الدراسة.

الملاحظـــة 2 – إن أثر فقدان التزامن في المسار الرقمي المرجعي الافتراضي لساتل في مستويات الطبقات الأعلى للبروتوكول في الوصلة المرجعية الافتراضية هو موضوع يستحق مزيداً من الدراسة.

الملاحظـــة 3 – أعد الجدول 2 استناداً إلى السلسلة الأخيرة من المعطيات المحدودة المتيسرة المستنسخة في الملحق 4؛ وهذه الصيغة المؤقتة مقدمة إلى حين إجراء دراسات أخرى.

الجـــدول 2

(انظر الملاحظة 3)

المدد القصوى المقيسة لاستعادة التزامن

التشكيل أو التشفير	معدل بتات الموجة الحاملة	الوقت اللازم لاسترداد التزامن (s)
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (معدل التصحيح الأمامي للأخطاء 1/2)	kbit/s 64	40
	Mbit/s 2	4,5
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (معدل التصحيح الأمامي للأخطاء 3/4)	kbit/s 64	19,8
	Mbit/s 2	6
	Mbit/s 8	9,3
	Mbit/s 34	2,3
التشفير الثماني بزحزحة الطور (معدل التصحيح الأمامي للأخطاء 2/3) مع التشفير بالمعيار الموصى به (201,219)	Mbit/s 2	3,1
	Mbit/s 8	9,1
	Mbit/s 34	4,0

الملحق 1

اعتبارات لمراعاتها عند تنفيذ المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية لتقديم الخدمات ذات التيسر الحساس للوقت اللازم لاستعادة التزامن بعد فقدانه

1 المقدمة والهدف

بحث سلوك التزامن لعدة فئات مختلفة من أجهزة الاستقبال على أساس القياسات أو المعلومات التي قدمتها الشركات الصانعة لأجهزة استقبال المحطات الأرضية. وكانت أهداف الاستقصاء هي تحديد مدة التداخل ومستوى القوى اللازم لكي يفقد جهاز الاستقبال التزامن. وحدد لكل جهاز استقبال قيد الاستقصاء مستوى التدهور ومدته اللازمة لفقدان التزامن. وعلاوة على ذلك حددت لكل جهاز استقبال المدة اللازمة لاستعادة التزامن. ثم حددت للنتائج قيم كمية لتعيين عتبة فقدان التزامن التي يمكن تطبيقها على جميع أجهزة استقبال المحطات الأرضية للخدمة الثابتة الساتلية العاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

2 أجهزة الاستقبال السمعية والمرئية والرقمية

يتضمن الملحق 2 وصفاً لجهاز استقبال سمعي مرئي رقمي نمطي يعمل بصيغة التشفير 2 لفريق الخبراء السينمائيين مع طريقة عمله ومناقشة لنتائج الاختبار. وتبين نتائج الاختبار أن قناة ساتلية من النوع المختبر أعلاه والمنفّذ باستخدام التشفير التلافيفي بالتحويل الرباعي بزحزحة الطور بالمعيار الموصى به بمعدل 1/2 أو 7/8 والذي يعمل بنسبة خطأ في البتات تبلغ 1×10^{-10} تفقد التزامن إذا زيدت الضوضاء بمقدار 2,2 dB لمدة تتراوح بين 1 و2 s. وإذا افترض استعادة المستويات الاسمية *لنسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* بعد فقدان التزامن ستحتاج المعدات إلى وقت إضافي يتراوح بين 4 و8 s للعودة إلى العمل بصورة طبيعية.

ولوحظ أن كتل الأخطاء تحدث في الصورة المستقبلة عند مستوى عتبي أعلى من مستوى فقدان التزامن. ويعتبر فيديو صيغة التشفير لفريق الخبراء السينمائيين غير متيسر عندما تظهر كتل الأخطاء في صورة الفيديو. وبالنسبة إلى إشارة الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين المشفرة بالتشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل 1/2 تحدث كتل الأخطاء عند عتبة نسبة موجة حاملة إلى ضوضاء أعلى من عتبة فقدان التزامن بمقدار 0,3 dB. وبالنسبة إلى إشارة الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين المشفرة بالتشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل 7/8 تحدث كتل الأخطاء عند عتبة نسبة موجة حاملة إلى ضوضاء أعلى من عتبة فقدان التزامن بمقدار 0,6 dB.

3 أجهزة استقبال المعطيات

تبين نتائج أداء أجهزة الاستقبال الرقمية التي تعمل بمعدلات معطيات مختلفة أن هامش فقدان التزامن هو في الحدود التي بحثت في البند 1.2. وعندما تنخفض قيمة العلاقة E_b/N_0 إلى ما دون العتبة المقررة لمدة تتراوح بين 1 و2 s يكون التزامن قد فقد من ناحية الترددات والمعطيات. ويعتمد طول الوقت الذي تستغرقه استعادة التزامن على الخوارزمية المستعملة وعرض النطاق الذي يتعين قطعه لاستعادة التزامن. وعموماً تكون هذه المدة دالة لمعدل المعطيات وطريقة التشكيل (التشفير الثنائي بزحزحة الطور والتشفير الرباعي بزحزحة الطور إلخ) وطريقة التشفير/فك التشفير ومعدل التشفير المستخدم. وتتراوح المدة الكلية لاستعادة تزامن الترددات والمعطيات بين معدلات بتات متوسطة وعالية تصل إلى نطاق Mbit/s، ويتضمن الجدول 8 نتائج الاختبار التي تبين نطاق تراوح الوقت اللازم لاستعادة التزامن.

4 الخدمات الرزمية

قد تتأثر خدمة المعطيات الرزمية لفترات أطول بكثير حتى عندما يستمر تعطل النظام لفترة قصيرة.

ويعتبر قطاع تقييس الاتصالات أن النظام غير متيسر إذا استمر عدم تيسر الخدمة لمدة 10 s أو أكثر. وتحدّث المعلومات المتعلقة بتوجيه الخدمة الرزمية كل 30 s، وقد يتأثر عدد أقصاه دورتين من هذا التحديث بالتعطل القصير الأجل والآثار الناجمة عنه. وهكذا فإنه يستنتج أنه حتى إذا استمر فقدان جهاز الاستقبال للتزامن لمدة تتراوح بين 1 و15 s فإن الأثر الشامل، بما في ذلك الوقت اللازم لاستعادة الخدمة، قد يتمثل في عدم تيسر هذه الخدمة لمدة أطول بكثير.

5 الشبكات الساتلية المعالجة على متنها

مع مجيء السواتل المعالجة على متنها يجب أيضاً مراعاة فقدان التزامن في الوصلة الصاعدة لهذه الشبكات عند تقييم آثار التداخل من المصادر غير العاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض ومصادر التداخل الأخرى في أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وسوف يلزم مزيد من التحليل لتحديد مدد ومستويات التداخل اللازمة للتسبب في فقدان التزامن في أجهزة الاستقبال الساتلية المعالجة على متن الساتل.

6 الملخص والنتائج

أجريت اختبارات على نوعية الأداء والحساسية للتداخل على أنواع مختلفة من أجهزة الاستقبال/أجهزة إزالة التشكيل التي تعمل أو التي يعتزم تشغيلها في النطاقين GHz 20/30 وGHz 11/14. وتلزم معلومات تكميلية عن التشكيلات والتحسينات الأخرى المدخلة على التقنيات الراهنة.

وتبين نتائج الاختبارات التي أجريت على أجهزة الاستقبال النمطية المستخدمة للأنظمة الرقمية المرئية والسمعية وخدمات إرسال المعطيات والتطبيقات الصوتية أن مستويات الضوضاء أو التداخل التي تتعدى مستويات العتبة المبينة في الجدول 1 لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء خلال فترة وجيزة تؤدي إلى فقدان تزامن جهاز الاستقبال. وتبين هذه الاختبارات أيضاً أنه عندما تعود الإشارات إلى المستويات الاسمية *لنسبة الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* بعد فقدان التزامن تكون مدد استعادة

أجهزة الاستقبال للتزامن دالة للتشكيل والتشفير ومعدل البتات، كما هو مبين في الجدول 2. ويلزم إجراء مزيد من الدراسة لمدة وتواتر مصادر التداخل لقياس آثارها الكمية بصورة كاملة في الخدمات المزودة بوظائف التزامن الضمني.

ومن الواضح بالنسبة إلى الأنظمة التي اختبرت أن الوقت الذي تستغرقه لاستعادة التزامن عامل مهم يجب أخذه في الاعتبار عند تحديد الاحتياجات المتعلقة بنوعية الخدمة. وتؤثر عدة عوامل في الوقت الكلي اللازم لاستعادة الخدمة، بما في ذلك: تزامن البتات هو جهاز إزالة التشكيل وتزامن الرتل وفك تشفير تصحيح الأخطاء والتزامن الأمني واستعادة وصلات الدارات الصوتية وإعادة تشغيل بروتوكولات الإرسال لدارات المعطيات.

الملحق 2

فقدان التزامن بسبب التداخل القصير الأجل في جهاز الاستقبال الرقمي للمعطيات المرئية والسمعية المرسلة بالصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين

1 مقدمة

يبحث في هذا الملحق سلوك التزامن في جهاز استقبال رقمي للمعطيات المرئية يستخدم عموماً من أجل النقل الساتلي للأخبار وتوزيع الفيديو من جانب محطات الإذاعة. كما تستخدم أجهزة استقبال معقدة من نفس النوع من أجل تطبيقات البث المباشر إلى البيوت والخدمة الإذاعية الساتلية وتوزيع المعطيات ونقل الملفات وتوزيع المعطيات إلخ. وقد اختيرت هذه الفئة من أجهزة الاستقبال لاختبارها وتقييمها لأن معطيات الفيديو مضغوطة ومشفرة تشفيراً شديداً حيث يمكن أن يتسبب فقدان التزامن في انقطاعات طويلة للخدمة. وسوف يكون أداء أجهزة الاستقبال الأخرى المصممة لأنواع مختلفة من الخدمة مماثلاً لكن لمدد انقطاع مختلفة.

2 الهدف والنهج

كانت أهداف الدراسة هي تحديد مدة التداخل ومستوى القدرة اللازمة للتسبب في فقدان جهاز الاستقبال للتزامن، وأيضاً لتحديد مدة تعطل جهاز الاستقبال. ومن أجل هذه القياسات تجري نمذجة التداخل على أنه ضوضاء غوسية. وهذا يتفق مع إجراءات الاختبار المعتمدة التي تعالج التداخل من المصادر الرقمية. وتم الحصول على القياسات برفع مستوى الضوضاء لمحاكاة مصدر التداخل. وصممت الاختبارات الأولية لتحديد أداء جهاز الاستقبال من ناحية معدل الخطأ في البتات، وقورنت بالمواصفات الواردة من الشركة الصانعة لضمان أن يكون أداء النظام قيد الاختبار سليماً. وأجريت اختبارات إضافية لتحديد متوسط مدة فقدان التزامن والوقت اللازم لاستعادة التوازن. وأجريت اختبارات أيضاً لتحديد أثر رشقة الضوضاء في أداء جهاز الاستقبال.

3 وصف جهاز الاستقبال

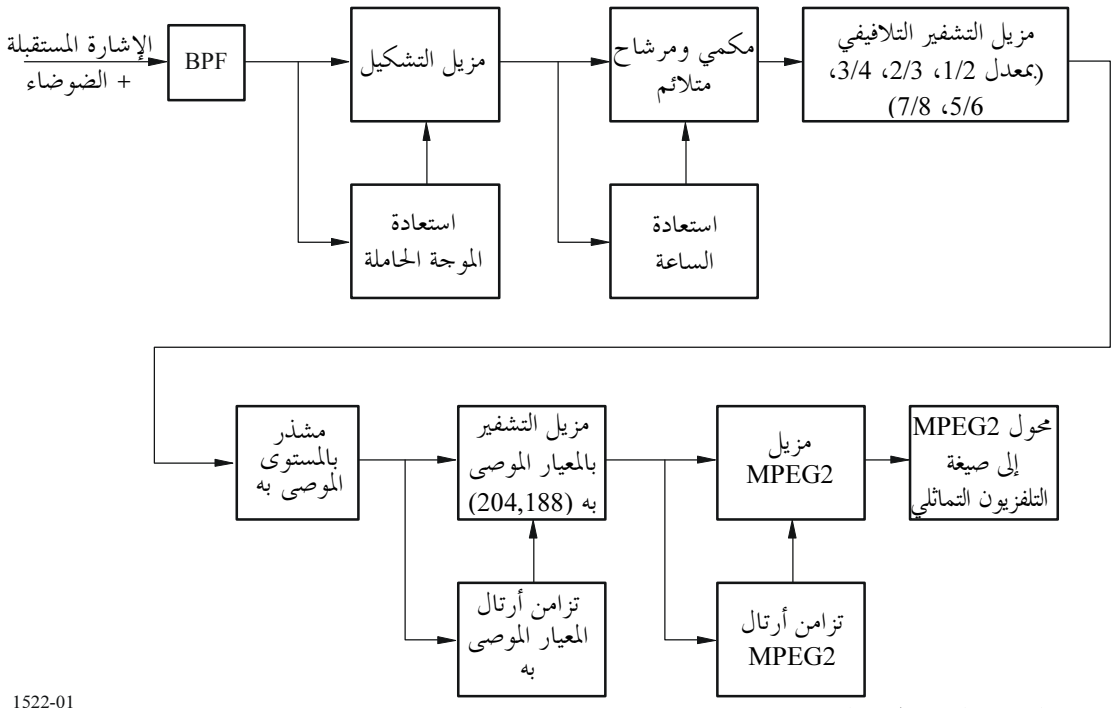
يضم جهاز استقبال الفيديو الرقمي قيد الاختبار أجهزة تفكيك تشفير الفيديو الرقمي بالصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين، والصوت الرقمي بالصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين على قناة واحدة لكل موجة حاملة. ويتيح هذا التشكيل الاستقبال المباشر للفيديو والصوت والمعطيات المرقمنة من إرسالات الشبكة الساتلية. ومن أجل هذا الاختبار وضعت الإشارة المستقبلة على أنها مشكلة بالتشفير الرباعي بزحزحة الطور في الحالات التي يستطيع فيها جهاز الاستقبال التعامل مع معدلات المعطيات التي تتراوح بين 2,5 Mbit/s و15 Mbit/s.

والشكل 1 هو مخطط إجمالي يبين سلسلة المعالجة في جهاز الاستقبال. فيزال تشكيل الإشارة المستقبلة وتجري تكمية الرموز التي كشفت ورشحت بمرشاح متوائم. ويفكك التشفير التلافيفي (فايتربي) للرموز التي جرت تكميتها. ويمكن ضبط النظام

على معدلات التشفير 1/2 و2/3 و3/4 و5/6 و7/8. وبعد ذلك تدخل الرموز في مفكك للشفرة من النوع الموصى به، ثم في مزيل للتشذير يحمي مفكك الشفرة الذي من النوع الموصى به من أخطاء الرشقات التي يولدها مفكك التشفير التلافيفي. ويقوم مفكك الشفرة بإنتاج صور بالصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين. وتفكك شفرتها ويزال تعدد الإرسال وتحول إشارة الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين إلى صيغة التلفزيون التماثلية.

الشكل 1

مخطط إجمالي لجهاز استقبال الفيديو الرقمي



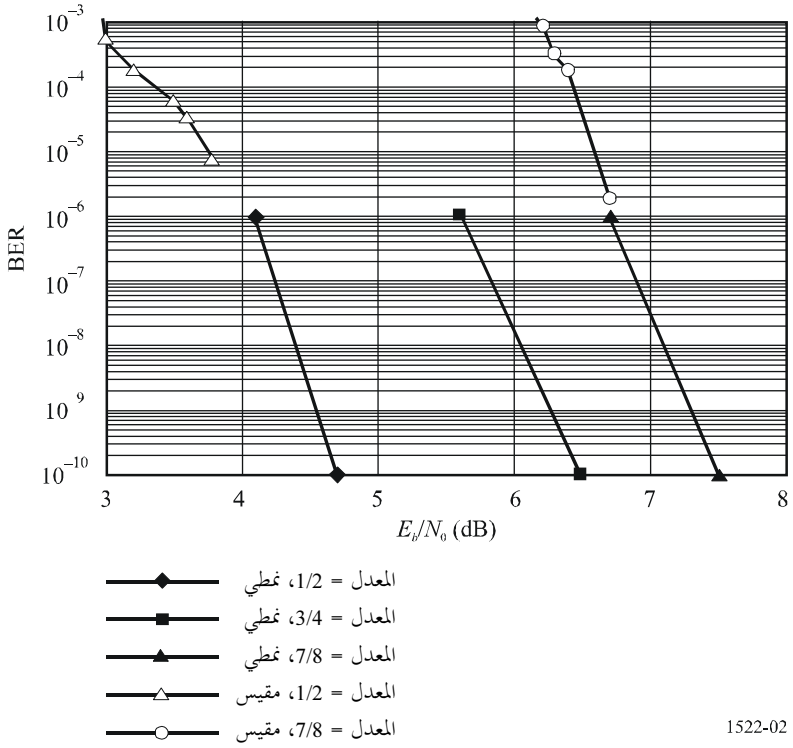
MPEG2: الصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين
BPF: مرشاح تمرير النطاق

كما هو مبين في الشكل 1 فإن لجهاز الاستقبال مستويات كثيرة من التزامن ابتداءً من استعادة الموجة الحاملة الأولية لتزامن الصورة التي بالصيغة 2 لفريق الخبراء السينمائيين قبل تحويلها إلى صيغة التلفزيون التماثلي. وعموماً تكون وظائف المستوى الأعلى للتزامن أكثر تعرضاً لاحتمال فقدان التزامن من وظائف المستوى الأدنى. ونتيجة لذلك يفقد تزامن الصورة والتشفير قبل تزامن الموجة الحاملة. وفقدان التزامن واستعادته هما وظيفتان للبرمجيات أساساً. وهكذا يمكن أن يعتمد سلوك جهاز الاستقبال على تنفيذ البرمجيات الخاصة.

ويبين الشكل 2 المنحنيات النمطية لأداء مفكك التشفير الذي من النوع الموصى به لعدة معدلات تشفير تلافيفي مختلفة. وتحدد عتبة الأداء في السماء الصافية عادة بما يلي: معدل الخطأ في البتات = 1×10^{-10}. وهذا يتعلق بـ E_b/N_0 = 4,7 dB للتشفير بمعدل 1/2 وE_b/N_0 = 7,5 dB لتشفير بمعدل 7/8.

الشكل 2

معدل الخطأ في البتات بعد فك التشفير التلافيفي



وقد حددت عتبات الخبو هنا باعتبارها نقطة التشغيل الدنيا لجهاز الاستقبال. وكثيراً ما تحدد عتبات الخبو في الشبكات الساتلية على أساس معدل الخطأ في البتات = 1×10^{-10}. ويبين الجدول 3 عتبات الخبو E_b/N_0 لمعدلات التشفير التلافيفي المختلفة.

الجـــدول 3

عتبات الخبو على أساس معدل الخطأ في البتات = 1×10^{-6}

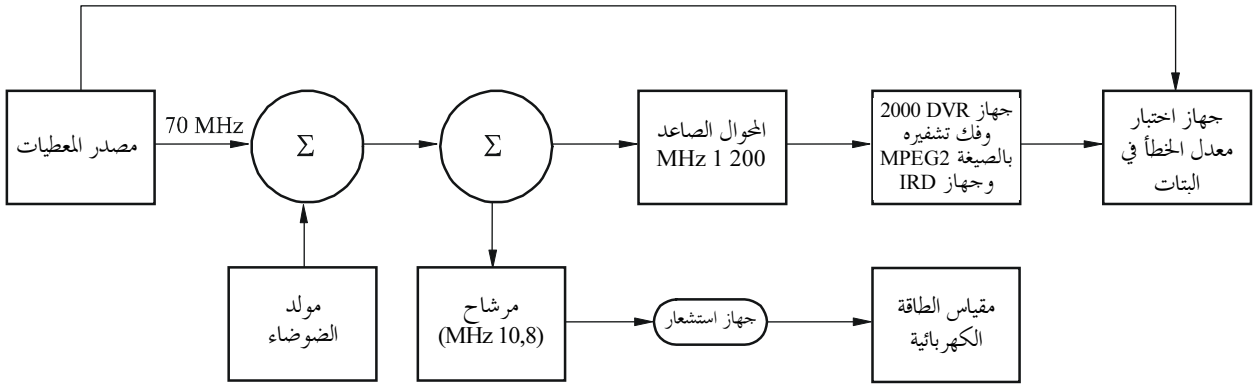
المعدل	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
E_b/N_0 (dB)	4,1	4,8	5,6	6,1	6,7

1.3 أداء جهاز الاستقبال

يبين الشكل 3 الترتيب المستخدم لاختبار معدل الخطأ في البتات الذي يستخدم للتحقق من عمل الوحدة قيد الاختبار. وكان معدل الإرسال 3,68% Mbit/s. واختبر معدلان مختلفان للتشفير، 1/2 و7/8. ويبين الشكل 2 أداء جهاز الإرسال. وكان من الصعب قياس معدلات الخطأ في البتات المنخفضة للغاية بسبب الوقت الطويل اللازم لإجراء القياسات. بيد أنه يبدو أن النتائج تتفق مع أداء المودم المعتاد، وقد قورن أداء هذا النظام بأداء الأنظمة الأخرى وكانت النتائج متسقة في حدود 0,3 dB.

الشكل 3

الترتيب المستخدم لاختبار معدلات الخطأ في البتات



DVR: جهاز استقبال الفيديو الرقمي
IRD: جهاز تفكيك الشفرة المدمج في جهاز الاستقبال

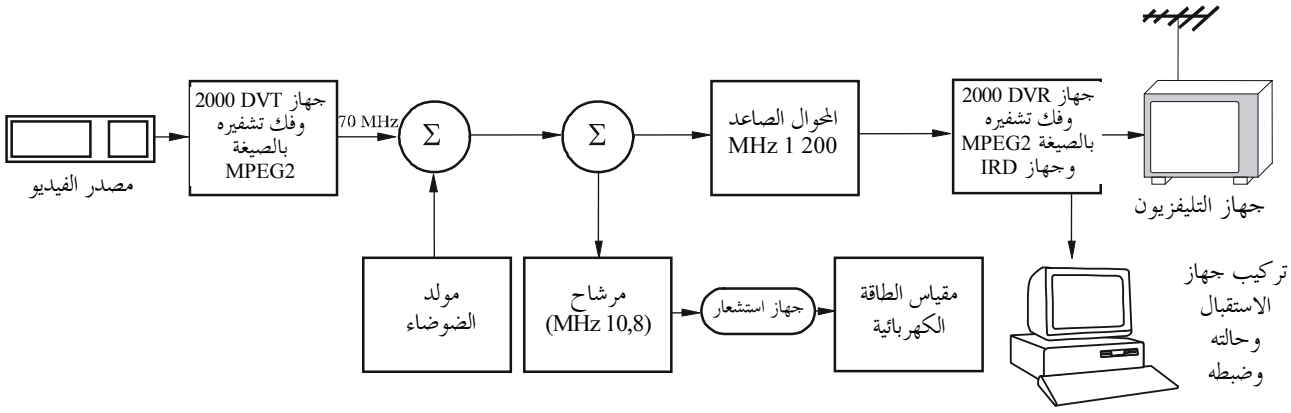
1522-03

4 الترتيب المستخدم لاختبار النظام

يبين الشكل 4 الترتيب المستخدم لاختبار السلوك التزامني لجهاز الاستقبال. وكان مصدر الفيديو هو فيديو برنامج حدث رياضي. وتقرر أن أداء جهاز الاستقبال قد تأثر بمقدار الحركة في الفيديو. وقد اختير ذلك المصدر نظراً إلى مضمونه الحركي غير المنتظم باستمرار الذي يضغط بصورة مستمرة على خوارزميات ضغط الفيديو.

الشكل 4

الترتيب المستخدم لاختبار معطيات الفيديو



DVT: جهاز إرسال الفيديو الرقمي

1522-04

أجريت قياسات القدرة من ناحية نسبة *الموجة الحاملة إلى الضوضاء* وحولت إلى E_b/N_0 باستخدام المعادلة التالية:

$$E_b/N_0 = C/N + 10 \log (B_n/dr) = C/N + 4{,}68 \quad (1)$$

حيث:

B_n : عرض نطاق الضوضاء = MHz 10,8

d_r : معدل المعطيات = Mbit/s 3,68

وفر جهاز الاستقبال المستخدم في الاختبار سطحاً بينياً خارجياً أتاح التحكم فيه محلياً بواسطة مطراف. كما يمكن توفير تشخيص لعرضه على المطراف يتضمن تقارير تطبع كل 5 s عن عدد الصور التي لم تعرض وعدد الصور التي تكرر عرضها وكذلك دلائل على حالة التزامن. كما تضمنت المعادلة قيد الاختبار فيديو عُرض على شاشة تلفزيون، قدم بياناً ذاتياً عن الأداء.

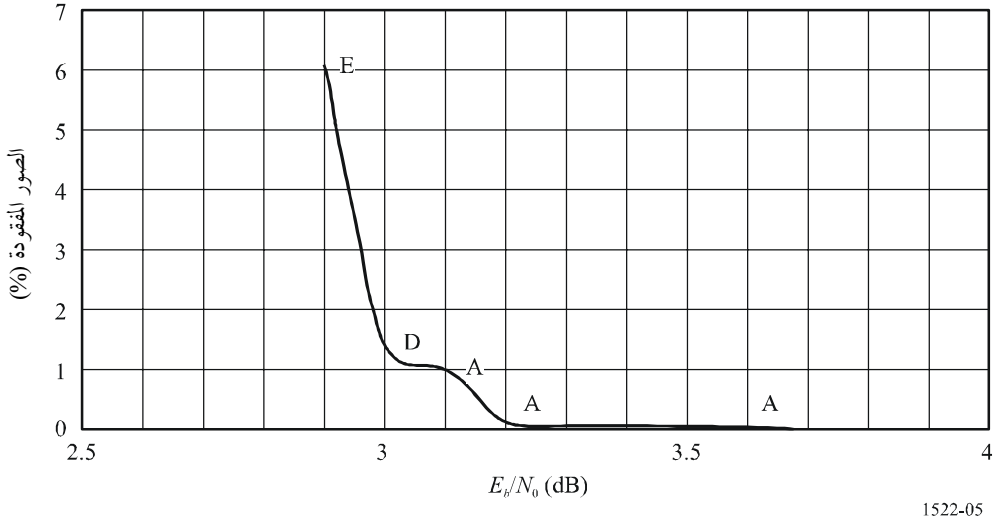
1.4 نتائج اختبار النظام

1.1.4 فقدان التزامن

يبين الشكلان 5 و6 عدد الصور المفقودة باعتبارها دالة لـــ E_b/N_0 للتشفير بالمعدلين 1/2 و7/8، على التوالي. وبالنسبة إلى كل نقطة لقياس E_b/N_0 حسب متوسط النتائج لمدة 2 min. ويعكس الانحدار الشديد للمنحنيات حساسية الشفرة التلافيفية المسلسلة. وتحت النقطة E_b/N_0 حيث يتعدى معدل خسارة الصور نحو 6% يفقد جهاز الاستقبال التزامن. وهي تتعلق بمعدل خطأ في البتات يبلغ نحو 1×10^{-3}.

الشكل 5

النسبة المئوية لصور الفيديو المفقودة باعتبارها دالة لـــ E_b/N_0
لجهاز استقبال الفيديو الذي يستخدم التشفير بمعدل 1/2

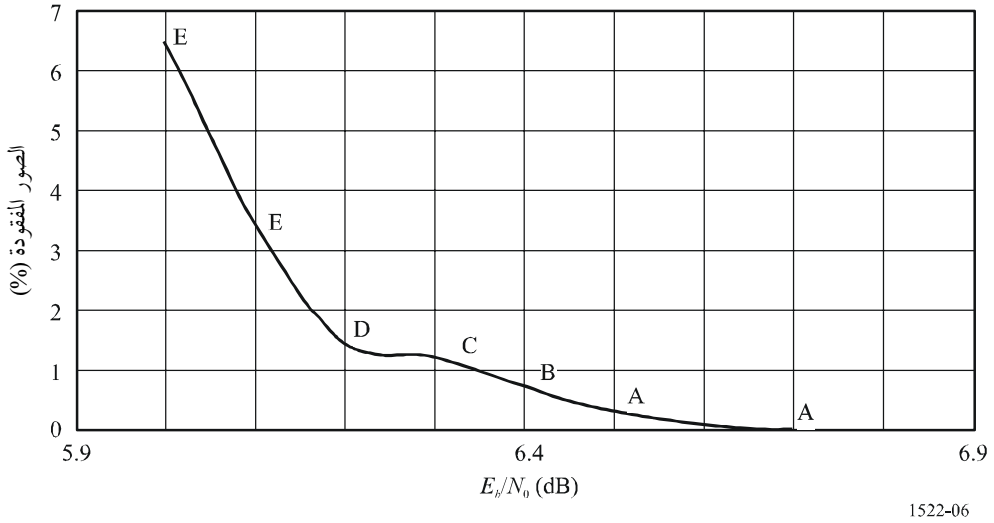


بواسطة شاشة تلفزيونية أجري قياس ذاتي لنوعية المشاهدة. وقد بينت القياسات الذاتية في الشكلين 5 و6 بحروف. ويرد فيما يلي معنى هذه الحروف:

A: صورة واضحة.
B: قفزات أو كتل أخطاء في الصورة من حين إلى آخر.
C: قفزات أو كتل أخطاء في الصورة في كثير من الأحيان.
D: ما زال في الإمكان مشاهدة الصورة.
E: لا يمكن مشاهدة الصورة.

الشكل 6

النسبة المئوية لصور الفيديو المفقودة باعتبارها دالة لـــ E_b/N_0
لجهاز استقبال الفيديو الذي يستخدم التشفير بمعدل 7/8

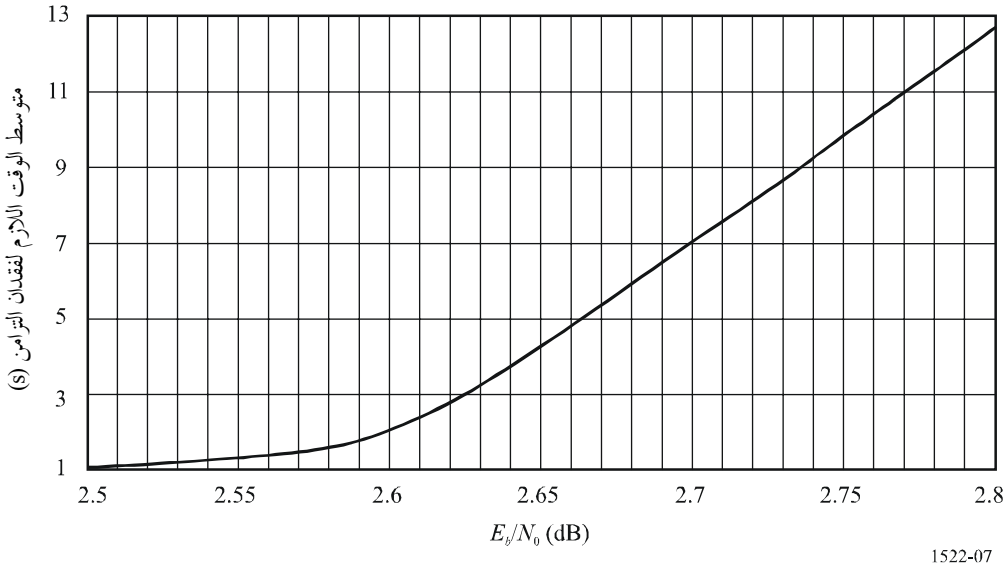


2.1.4 متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن

جرى حساب متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن لنسبة E_b/N_0 أدنى من معدل فقدان الصور الذي يبلغ 6%. ويبين الشكلان 7 و8 متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن بالنسبة لمعدلي التشفير 1/2 و7/8، على التوالي. وقد أجريت هذه القياسات بالسماح بتزامن جهاز الإرسال حتى قيمة كبيرة لنسبة E_b/N_0، ثم خفض قيمة نسبة E_b/N_0 إلى القيمة المختبرة، وتسجيل الوقت الذي مر قبل فقدان التزامن. وقد أجريت قياسات الزمن بالنظر إلى ساعة. وحسب متوسط عشرة قياسات لكل قيمة لنسبة E_b/N_0.

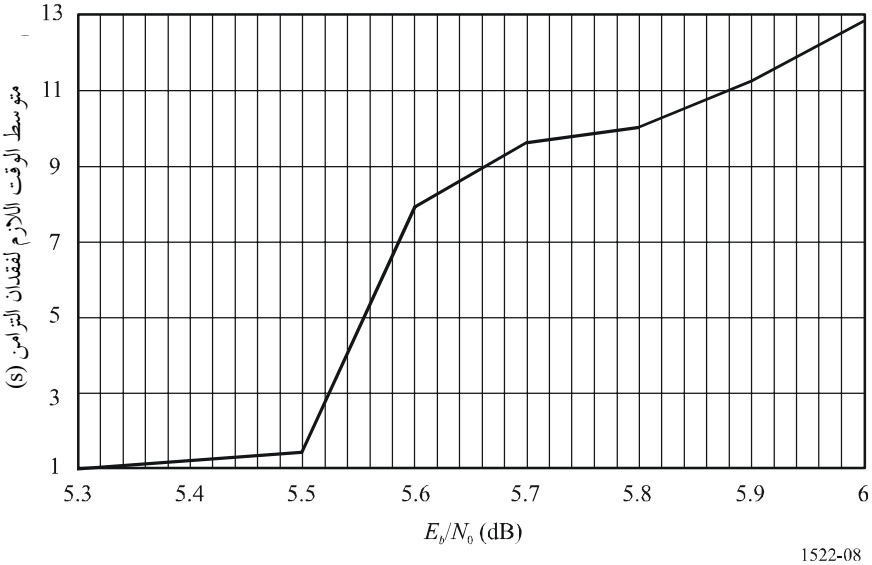
الشكل 7

متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن المرتبط بنسبة E_b/N_0 لجهاز استقبال للفيديو
يستخدم معدل تشفير قدره 1/2



الشكل 8

متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن المرتبط بنسبة E_b/N_0 لجهاز استقبال للفيديو يستخدم معدل تشفير قدره 7/8



يبدو أنه دون قيمة معينة لنسبة E_b/N_0 يفقد جهاز الاستقبال دائماً التزامن في نحو 1 s. وحيث أن التداخل من النظام غير العامل في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض سينطوي على رشقات قصيرة (في حدود ثوانٍ) فإن نسبة E_b/N_0 في غاية الأهمية. وبالنسبة للنظام الذي يستخدم التشفير بمعدل 1/2 العلاقة E_b/N_0 تساوي 2,5 dB أما النظام الذي يستخدم التشفير بمعدل 7/8 فإن نسبة E_b/N_0 تساوي 5,3 dB. وبالنسبة إلى معدل خطأ في البتات يساوي 1×10^{-10} فإن هذا يتعلق بهامش قدره 2,2 dB لكل من معدلي التشفير 1/2 و7/8.

3.1.4 استعادة التزامن

بالنسبة إلى جهاز الاستقبال قيد الاختبار يوجد نطاقان للبحث لالتقاط الموجة الحاملة. ويستعمل في الالتقاط الأولي نمط بحث واسع يبحث في نطاق ±1,5 MHz. ويستخدم في الاستعادة العادية للتزامن نمط بحث ضيق في نطاق ±140 kHz حول التردد الذي كان محل التزامن في آخر مرة. ويظل جهاز الاستقبال في نمط البحث الضيق لمدة 5 min تقريباً، وإذا لم تلتقط الموجة الحاملة يحول الجهاز إلى نمط البحث الواسع.

وحيث إنه ينتظر ألا يحدث التداخل من غير مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض ينتظر ألا يحدث سوى رشقات قصيرة الأجل فإنه يمكن افتراض النجاح في استعادة الموجة الحاملة أثناء وجود الجهاز في نمط البحث الضيق. وتبين قياسات الزمن أن الاستعادة في نمط البحث الضيق تستغرق نحو 4 s. وينبغي ألا يكون البحث عن الموجة الحاملة سوى جزء من هذا الزمن، لأن البحث يبدأ في التردد الذي فقد فيه التزامن. وينقضي معظم الوقت اللازم للاستعادة بالنسبة لجهاز الاستقبال في إعادة بدء البرمجة الداخلية.

وينتظر أن يقدم نموذج محسن لجهاز استقبال الفيديو الرقمي قيد الاختبار أداء أفضل قليلاً. بيد أن جهاز الاستقبال المذكور يتأخر 4 s إضافية لأنه صنع قبل بدء عملية استعادة التزامن.

4.1.4 استعادة التزامن من رشقات التداخل

هذا الاختبار يشبه اختبار متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن الوارد وصفه في البند 2.1.4، ويحدد بشكل أفضل أثر رشقات أخطاء. وقد جرت محاكاة رشقات التداخل بتشغيل جهاز الاستقبال دون ضوضاء، ثم إرسال رشقة ضوضاء في قناة لمدة قصيرة. وتم التحكم في رشقة الضوضاء بحيث تكون قيمة النسبة ذات الصلة؛ E_b/N_0 = 2,5 dB للقناة المشفرة بمعدل 1/2 وقيمة نسبة E_b/N_0 = 5,3 dB للقناة المشفرة بمعدل 7/8 للفترة الخاضعة للتحكم ±0,25 s. ويبين الجدول 4 نتائج هذا الاختبار.

الجـــدول 4

أداء جهاز الاستقبال بعد رشقة الضوضاء

المعدل	نسبة مستوى تغير E_b/N_0 (dB)	مدة التداخل (s)	فقدان التزامن	الصور المفقودة (%)
7/8	5,3	1	لا	8,5
7/8	5,3	2	نعم	–
1/2	2,5	0,5	لا	4,0
1/2	2,5	1	لا	12
1/2	2,5	2	نعم	–

يبين هذا الاختبار أنه يلزم أن تستمر الرشقة لمدة نحو 2 s لكي يفقد جهاز الاستقبال التزامن، في حين أنه وفقاً للبند 2.1.4 فإن متوسط الوقت اللازم لفقدان التزامن هو 1 s فقط بالنسبة لنفس نسبة E_b/N_0. ومن الواضح أنه تلزم قيمة منخفضة لنسبة E_b/N_0 لمدة أكثر من 1 s للحيلولة دون استعادة تزامن القناة.

5 الاستنتاجات

تبين قياسات الأداء التي أجريت لجهاز الاستقبال المذكور هامشاً لفقدان التزامن قدره 2,2 dB بالنسبة إلى معدل الخطأ في البتات يبلغ 1×10^{-10}. ويلزم رشقة تداخل لمدة 2 s تقريباً للتسبب في فقدان التزامن. ويستعيد جهاز الاستقبال التزامن بعد انتهاء التداخل بـــ4 s. وإذا افترضنا إنشاء قناة ساتلية بهوامش تحميها أثناء فترة عدم التيسر بقيمة عتبة معدل الخطأ في البتات تبلغ 1×10^{-10} يفقد جهاز الاستقبال التوازن في الدارة المختبرة إذا حدث تجاوز لهذا الهامش بمقدار 2,2 dB لمدة تتراوح بين 1 و2 s. وإذا افترضنا استعادة المستويات التشغيلية بعد فقدان التزامن تستعاد وظائف جهاز الاستقبال خلال فترة تتراوح بين 4 و8 s.

الملحق 3

أثر أحداث التداخل في تيسر الخدمة

1 المقدمة والهدف

تأثر تيسر خدمة وصلة شبكة تعمل في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض بتوليفة من الأحداث المتعلقة بالغلاف الجوي والمعدات والتداخل علاوة على الوقت اللازم لاستعادة التزامن بعد فقدانه. ويبين هذا التحليل أنه في الحالات التي يكون فيها الوقت اللازم لاستعادة التزامن عاملاً ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار يتناقص تيسر خدمة (المعرف فيما بعد) شبكة عاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض في تناسب عكسي مع عدد أحوال الانتشار والتداخل والمعدات التي تتسبب في فقدان التزامن، حتى إذا ظل المجموع الإجمالي لمدد عدم تيسر الوصلة ثابتاً، أي أن عدداً كبيراً من مرات التداخل القصير المدة يضر أكثر من عدد مرات قليلة لتداخل طويل المدة.

2 التعاريف

تعرّف التوصية ITU-R S.579 تيسر الدائرة المرجعية الافتراضية والمسار الرقمي المرجعي الافتراضي في الخدمة الثابتة الساتلية. وتنص الفقرتان د) وه) من ديباجة التوصية ITU-R S.579 على أن التيسر يحدد بالآثار المجمعة للانتشار ولتيسر المعدات؛

وجاء في الفقرة 4 من المنطوق أنه ينبغي أن يراعى أيضاً في عدم التيسر الوقت اللازم لاستعادة تزامن المعدات. وتعرف التوصية ITU-R S.579 "تيسر" و"عدم تيسر" الدارة على النحو التالي:

$$\text{التيسر} = (100 - \text{عدم التيسر}) \quad \% \qquad (2)$$

حيث:

$$\text{عدم التيسر} = (\text{مدة عدم التيسر}/\text{الوقت اللازم}) \times 100 \quad \% \qquad (3)$$

ويعرف "الوقت اللازم" بأنه الفترة التي يحتاج فيها المستعمل أن تكون الدارة أو المسار الرقمي في وضع يتيح أداء المهمة المطلوبة وأن مدة عدم التيسر هي المجموع الزمني لمرات توقف الدارة أو المسار الرقمي أثناء فترة الطلب عليها.

ويراعي هذا التحليل آثار "الوقت اللازم لاستعادة التزامن" باعتباره دالة لمدة الحدث المنفرد عند افتراض أن مجموع مدد الأحداث ثابت خلال مدة سنة. وجميع الأمثلة الرقمية وأمثلة التحليل مقدمة على أساس سنوي. ويبين التحليل أن الحدث القصير المدة الذي يسبب عدم التيسر ويتكرر كثيراً يكون له بصفة عامة في العادة أثر أكبر في الأداء ولمدة أطول من الحدث الطويل المدة الذي يتكرر مرات قليلة خلال نفس الفترة الطويلة. ويلزم إجراء مزيد من الدراسة لتحديد الفترات الزمنية التي ينبغي اختيارها للتقييم.

3 التيسر واحتياجات المستعمل

تربط التوصية ITU-R S.579 التيسر بحاجة المستعمل إلى أداء مهمة. وهذه المهام مثل المهام المتعلقة بفقدان التزامن تحتاج إلى وقت إضافي أكبر من الاستعادة الملائمة *لنسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء* من أجل استعادة القدرة الوظيفية المنشودة.

وفي مثل هذه الوصلات يعقب استعادة النسبة الملائمة *للموجة الحاملة إلى الضوضاء* استعادة عمل الوصلة واستئناف مهام المستعمل.

ولأغراض هذا التحليل وجد أنه من المفيد التمييز بين تيسر الوصلة وتيسر خدمة المستعمل على النحو التالي:

$$\text{تيسر الوصلة} = \text{النسبة المئوية لمدة تيسر ناتج جهاز الاستقبال/جهاز تفكيك الشفرة} \qquad (4\text{ أ})$$

$$\text{تيسر الخدمة المقدمة للمستعمل} = \text{النسبة المئوية لمدة تيسر تزامن البتات ومهام المستعمل} \qquad (4\text{ ب})$$

وحيث إن تيسر الخدمة المقدمة للمستعمل يعتمد على تيسر الوصلة فإن مدة الأول لا يمكن أبداً أن تكون أكبر من مدة الأخير.

ويترتب على ما سبق أعلاه أيضاً أن " عدم تيسر الوصلة" و" عدم تيسر خدمة المستعمل" يساويان 100 ناقصاً القيم المبينة في المعادلتين
(4 أ) و(4 ب)، على التوالي.

وترد فيما يلي قائمة ببعض مهام المعدات، باستثناء جهاز الاستقبال/جهاز تفكيك الشفرة وجهاز تزامن البتات، الحساسة لفقدان التزامن والتي يتعين استعادة تزامنها. وسوف يقلل الوقت اللازم لإنجاز هذه الأعمال من تيسر الخدمة المقدمة للمستعمل بالنسبة إلى تيسر الوصلة. وتشمل هذه العمليات ما يلي:

- تزامن الصور؛
- تزامن الأمن؛
- تزامن المشذر؛
- تزامن مفكك الشفرة مع تصحيح الأخطاء؛
- إعادة بدء بروتوكولات الإرسال؛

– بدء تشغيل مطراف المستعمل.

ومهام المستعمل الأخرى التي تعتمد عادة على وصلات أخرى (مثل إعادة الاتصال) لكنها قد تتأثر بفقدان التزامن لن تكون محل نظر الآن.

4 التحليل

1.4 مدة الحدث وعدد الأحداث التي تقع سنوياً

يعبر عن تيسر الوصلة عادة بنسب مئوية من الوقت لا يمكن فيها تجاوز حدود معينة.

وبناء على ذلك فإنه إذا كانت:

P: نسبة من الوقت يجري فيه تجاوز الحدود

$P = 1 - 0{,}01 \times$ النسبة المئوية للوقت المتاح، وإذا كانت

N: هي عدد الأحداث المتسببة في عدم التيسر سنوياً وكانت

D: هي متوسط مدة كل حدث (s)،

تكون:

$$D \times N = P \times 3{,}1536 \times 10^7 \text{ ثانية غير متيسرة سنوياً} \quad (5)$$

حيث إن:

$3{,}1536 \times 10^7$: عدد الثواني خلال 365 يوماً.

على سبيل المثال كثيراً ما يكون التيسر بنسبة 99% و99,9% و99,99% شروطاً لوصلات الشبكات الساتلية. ويملي اختيار متطلبات الأداء هذه عوامل كثيرة تتضمن التكلفة ونطاقات الترددات المنفذة وحدود التكنولوجيا والحاجة الخاصة إلى الخدمة. وبالنسبة إلى الحالات الثلاث قيد النظر.

$$P = 10^{-2} \text{ و} 10^{-3} \text{ و} 10^{-4} \text{ و}$$

يمكن تحديد مدة عدم التيسر سنوياً بالثواني بالمعادلة (5) على النحو التالي:

$D \times N$ = 315 360 ثانية عدم تيسر للشبكة المتيسرة لما نسبته 99% من الوقت،

= 31 536 ثواني عدم تيسر للشبكة المتيسرة لما نسبته 99% من الوقت،

= 3 153,6 ثواني عدم تيسر للشبكة المتيسرة لما نسبته 99%.

وتبين المعلومات التجريبية (انظر الملحق 1) أن أحداث التداخل الرفيعة المستوى بقدر كافٍ التي تستمر لمدة 1 s أو أكثر يمكن أن تتسبب في فقدان تزامن مهام الخدمة العامة المنفذة على الوصلات الساتلية. وإذا افترض أن أحداث التداخل تشغل كل ميزانية عدم التيسر وأن كل حدث من هذه الأحداث يستمر لمدة 1 s، إذاً يمكن أن تتعرض كل وصلة لما يصل إلى ما يلي:

315 360 انقطاعاً في السنة للوصلة المتيسرة لما نسبته 99% من الوقت

31 536 انقطاعاً في السنة للوصلة المتيسرة لما نسبته 99% من الوقت

3 153,6 انقطاعاً في السنة للوصلة المتيسرة لما نسبته 99% من الوقت.

ولكل حدث يتسبب في فقدان التزامن يلزم R s من الوقت لاستعادة التزامن بعد الـ5 ثواني اللازمة لاستعادة هامش *نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء* للوصلة الملائمة. ويزداد عدم تيسر النظام لتلك الدارة بـ $N(R + S)$ سنوياً: حيث تساوي N المجموع السنوي لعدد حوادث الانقطاع التي تتسبب في فقدان التزامن حتى الحدود القصوى المبينة أعلاه.

ويترتب على ذلك أن:

$$\text{عدم تيسر الخدمة} = \text{عدم تيسر الوصلة} + N(R+S)\text{؛}$$

و

$$\text{النسبة المئوية لتيسر الخدمة} = (100 - (\text{عدم تيسر الوصلة} + N(R+S))) \quad \%$$

أجري حساب على سبيل المثال باستخدام المعادلتين الواردتين أعلاه على الوصلات المصممة لكي تتيسر لما نسبته 99% و99,9% و99,99% من الوقت. وتبين الجداول 5 و6 و7 ما للوقت اللازم لاستعادة التزامن من آثار في تيسر الخدمة في حالة الأمثلة الثلاثة الواردة أعلاه لتيسر الوصلة. وفي جميع هذه الأمثلة يفترض ما يلي:

الوقت اللازم لاستعادة التزامن، R = 10 s، و

الوقت اللازم لاستعادة التزامن، S = 1 s.

وتتضمن الأشكال 9 و10 و11 رسماً بيانياً لنتائج الحسابات.

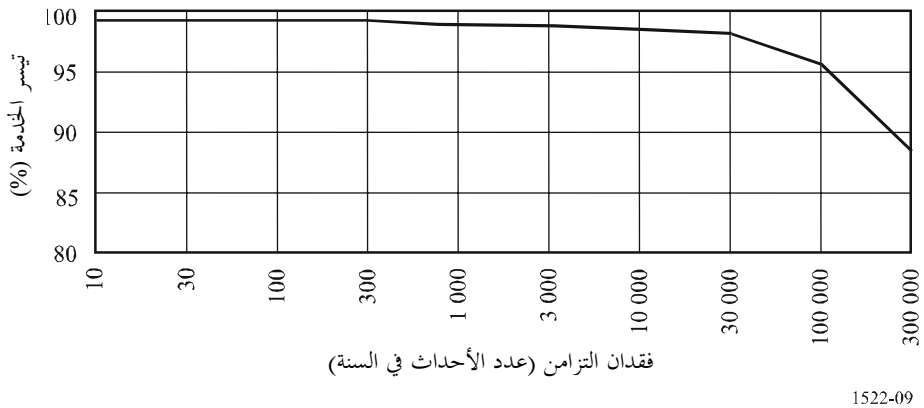
الجـــدول 5

تيسر الوصلة لما نسبته 99% من الوقت

عدد مرات فقدان التزامن، N	مدة الحدث، D (s)	$N(R+S)$ الوقت اللازم لاستعادة التزامن (s)	مدة عدم تيسر الخدمة (s)	تيسر الخدمة (%)
10	31 536	110	315 470	98,999
30	10 512	330	315 690	98,998
100	3 153,6	1 100	316 460	98,996
300	1 051,2	3 300	318 860	98,989
1 000	315,36	11 000	326 360	98,965
3 000	105,12	33 000	348 360	98,895
10 000	31,536	110 000	425 360	98,651
30 000	10,512	330 000	645 360	97,954
100 000	3,1536	1 100 000	1 415 360	95,512
300 000	1,0512	3 300 000	3 615 360	88,536

الشكل 9

أثر استرداد التزامن في تيسر الوصلة لما نسبته 99% من الوقت



1522-09

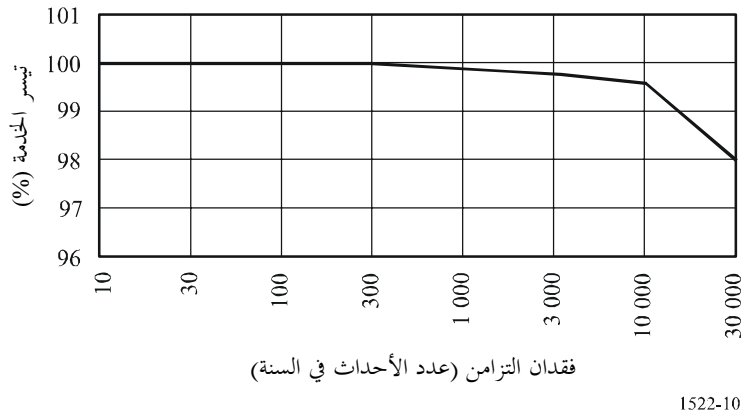
الجـــدول 6

تيسر الوصلة لما نسبته 99,9% من الوقت

عدد مرات فقدان التزامن، N	مدة الحدث، D (s)	$N(R+S)$ الوقت اللازم لاستعادة التزامن (s)	مدة عدم تيسر الخدمة (s)	تيسر الخدمة (%)
10	31 536	110	31 464	99,899
30	10 512	330	31 866	99,898
100	3 153,6	1 100	32 636	99,896
300	1 051,2	3 300	34 836	99,889
1 000	315,36	11 000	42 536	99,865
3 000	105,12	33 000	64 536	99,795
10 000	31,536	110 000	141 536	99,551
30 000	10,512	330 000	645 360	97,953

الشكل 10

أثر استعادة التزامن في تيسر الوصلة لما نسبته 99,9% من الوقت



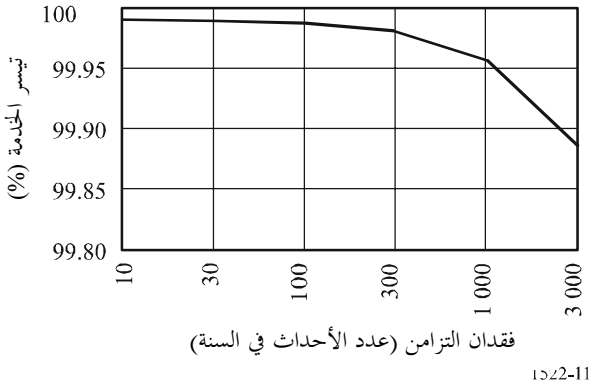
الجـــدول 7

تيسر الوصلة لما نسبته 99,99%

عدد مرات فقدان التزامن، N	مدة الحدث، D (s)	$N(R+S)$ الوقت اللازم لاستعادة التزامن (s)	مدة عدم تيسر الخدمة (s)	تيسر الخدمة (%)
10	31 536	110	3 263,6	99,989
30	10 512	330	3 483,6	99,986
100	3 153,6	1 100	4 253,6	99,896
300	1 051,2	3 300	6 453,6	99,979
1 000	315,36	11 000	14 153,6	99,955
3 000	105,12	33 000	36 153,6	99,885

الشكل 11

أثر استعادة التزامن في تيسر الوصلة
لما نسبته 99,99% من الوقت



5 مناقشة

يتضح من النظر في الجداول 5 إلى 7 والأشكال 9 إلى 11 أن استعادة التزامن تؤثر في تيسر تطبيقات الخدمة بشكل يتناسب مع معدل تواتر فقدان التزامن حتى عند المحافظة على تيسر الوصلة. ولذا فإنه من الواضح أنه من المهم السيطرة على الأحداث التي تتسبب في فقدان التزامن، وأن هناك داعياً لإجراء مزيد من الدراسة لوصف تلك الأحداث. وقد تناولت دراسات التعطل التي أجريت حتى الآن عموماً أوجه شذوذ الانتشار وتعلق معظمها بإجمالي الوقت المنقضي لحدوث أعطال الإرسال وقدمت نتائجها في شكل توزيع تجميعي. وتعلقت دراسات أخرى للتداخل عموماً بمستويات التداخل المسببة لفقدان التزامن ذات الطبيعة المستقرة نسبياً. ومن الجدير بالملاحظة أن المادة 22 من لوائح الراديو تسمح بحدود مؤقتة لكثافة تدفق القدرة المكافئة للسواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في نطاقات تردد معينة في الخدمة الثابتة الساتلية. وينبغي أن يراعى في تحديد صفات التداخل من مصادر التداخل الموجودة خارج مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض بيئة التداخل التي تنشأ عن الطبيعة المتكررة لمدارات السواتل غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض. وإن الآلية المدارية لساتل واحد غير مستقر بالنسبة إلى الأرض على ارتفاع منخفض تفسر أهمية هذه الاعتبارات. وفي استطاعة المرء أن يبين أنه يمكن وضع ساتل واحد على ارتفاع منخفض في مدار يمر نحو 1 000 مرة في السنة فوق نقطة واحدة على سطح الأرض. ونظراً إلى أن عدة أنظمة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض تتقاسم الطيف مع شبكات للخدمة الثابتة الساتلية تعمل في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض فإنه يخشى من أن أثر الطبيعة المتكررة لمصادر التداخل هذه التي لم تفهم بعد بصورة كاملة والتي يجب أن تكون محل مزيد من الدراسة لتلافي فقدان التزامن في وصلات الخدمة الثابتة الساتلية العاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

6 الاستنتاجات

ينبغي مراعاة متطلبات الوقت اللازم لاستعادة الخدمة في الشبكات العاملة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض عند تحديد إمكانية التحويل على الشبكة أثناء تصميم الوصلات. وقد بين تحليل أن الوقت اللازم لاستعادة التزامن بعد فترة من عدم التيسر بسبب حادث يؤثر في مدى تيسر دارة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض للخدمة. كما يبين التحليل أنه نظراً لعدم تيسر الوصلة بشكل مستمر فإن تيسر دارة في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض للخدمة يتناقص مع ازدياد تواتر الحوادث المتسببة في فقدان التزامن. وفي حين يسلم بأهمية توزيع عدم التيسر على مدار السنة فإن النظر في أثر الفترات الأقصر قد يكون محل مزيد من الدراسة.

الملحق 4

معايير تحديد عتبة التزامن

يتعلق فقدان تزامن الموجة الحاملة الرقمية بمستوى نسبة *الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* الذي هو دالة للتداخل ولأداء معدات المحطة الأرضية وهامش الوصلة الساتلية ومرات الهطول والتداخل الشمسي.

وقيم نسبة *الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* الواردة في الجدول 8 هي ملخص لعدة تجارب أجريت على الموجات الحاملة الرقمية بمعدلات بتات مختلفة وشفرات أخطاء مختلفة، بهدف تحديد قيم نسبة *الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* التي تستتبع فقدان تزامن مزيل التشكيل/مفكك الشفرة وكذلك الوقت اللازم لاستعادة التزامن بعد رشقة ضوضاء متعلقة بتداخل قد يحدث من نظام ساتلي للخدمة الثابتة الساتلية لا يعمل في مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض.

وقد أخذت القيم الواردة في الجدول 8 من عدد محدود من برامج القياس (خمسة).

الجدول 8

نتائج قياسات عتبات فقدان التزامن والوقت اللازم لاستعادة التزامن

التشكيل والتشفير	معدل البتات	$C/(N+I)$ (dB)	الوقت اللازم لاسترداد التزامن (s)
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (التصحيح الأمامي للأخطاء بمعدل 1/2)	64 kbit/s	3,1–1,7	40–9
	2 Mbit/s	3,6–3,4	4,5–1,7
التشفير الرباعي بزحزحة الطور (التصحيح الأمامي للأخطاء بمعدل 3/4)	64 kbit/s	4,2–3,4	19,8–8,6
	2 Mbit/s	4,2–3,1	6–1,9
	8 Mbit/s	5,6–3,9	9,3–4
	34 Mbit/s	4,5–4,1	2,3–1,8
التشفير الثماني بزحزحة الطور (التصحيح الأمامي للأخطاء بمعدل 2/3) + التشكيل بالتشفير التشابكي	2 Mbit/s	7,9	3,1–2,6
	8 Mbit/s	7,8–7,6	9,1
	34 Mbit/s	7,9–7,8	4–1,7

ينبغي زيادة القيم الواردة أعلاه بنسبة *الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* بنحو 0,5 dB لمراعاة المساهمات غير الخطية للساتل في وصلة ساتلية فعلية.

واستناداً إلى مجموعة القياسات الواردة في الجدول 8 لعتبات فقدان التزامن لأنظمة ذات معدلات معطيات أقل 34 Mbit/s اتفق على أن قيم نسبة *الموجة الحاملة إلى (الضوضاء + التداخل)* تمثل عتبات فقدان التزامن للموجات الحاملة المبينة.

الجـــدول 9

التشكيل والتشفير	C/(*N*+ *I*) (dB)
التشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل 1/2	3,5
التشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل 3/4	5,3
التشفير الرباعي بزحزحة الطور بمعدل 7/8	6,0
التشفير الثماني بزحزحة الطور المسموح بها	8,1
16-تشكيل اتساع تربيعي	11,0

وفي جميع الحالات الأخرى، ولا سيما عندما تحدد أهداف نوعية الأداء بقيم أدنى من القيم المسموح بها أعلاه يفترض أن عتبة فقدان التزامن أدنى من هدف الأداء المتدني بمقدار 1 dB.

وقد وجد في نتائج الاختبار الواردة أعلاه تباين كبير في الوقت اللازم لاستعادة التزامن. وفي هذه التوصية تقترح المدد القصوى اللازمة لاستعادة التزامن باعتبارها مؤقتة وينبغي إجراء مزيد من الاختبارات قبل السماح بقيم نموذجية أدنى.