

الاتحاد الدولي للاتصالات

# ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

**التوصية ITU-R S.2131-0**  
(2019/09)

طريقة تحديد أهداف أداء المسارات الرقمية  
المرجعية الافتراضية الساتلية التي تستعمل  
التشفير والتشكيل التكيفيين

السلسلة S

الخدمة الساتلية الثابتة



## تمهيد

يضع قطاع الاتصالات الراديوية دور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

## سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

### سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة الاستدلال الراديوي وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بُعد	RS
<b>الخدمة الثابتة الساتلية</b>	<b>S</b>
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

**ملاحظة:** تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2020

© ITU 2020

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

## التوصية ITU-R S.2131-0

## طريقة تحديد أهداف أداء المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية

الساتلية التي تستعمل التشفير والتشكيل التكيفيين<sup>1</sup>

(المسألان ITU-R 275 و ITU-R 277-1/4)

(2019)

## مجال التطبيق

يتيح استعمال التشفير والتشكيل التكيفيين (ACM) الحفاظ على توصيل ساتلي رغم الانحطاط بسبب الانتشار ولكن بمعدلات صبيب أدنى. وتقدم هذه التوصية طريقة لتحديد أهداف أداء أنظمة الاتصالات الساتلية التي تستعمل التشفير والتشكيل التكيفيين.

## مصطلحات أساسية

تشفير وتشكيل تكيفيان؛ أهداف الأداء؛ اتصالات ساتلية

## المختصرات/الأسماء المختصرة

التشكيل والتشفير التكيفيان (Adaptive coding and modulation)	ACM
معدل الفدرات الخلفية ذات الأخطاء (Background block error rate)	BBER
احتمال الخطأ في البتات (Bit error probability)	BEP
معدل الخطأ في البتات (Bit error ratio)	BER
الإذاعة الفيديوية الرقمية (Digital video broadcasting)	DVB
الجيل الثاني للإذاعة الفيديوية الرقمية الساتلية (Second generation digital video broadcasting via satellite)	DVB-S2
تمديد الجيل الثاني للإذاعة الفيديوية الرقمية الساتلية (Extension of second generation digital video broadcasting via satellite)	DVB-S2X
كتلة مشوبة بالخطأ (Errored block)	EB
ثانية تتخللها أخطاء (Errored second)	ES
المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات (European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
معدل الخطأ في الإطار (Frame error rate)	FER
مسير رقمي افتراضي مرجعي (Hypothetical reference digital path)	HRDP
توصيل افتراضية مرجعية (Hypothetical reference connection)	HRX
التشكيل والتشفير (Modulation and coding)	MODCOD
فريق خبراء الصور المتحركة (Moving picture experts group)	MPEG

<sup>1</sup> تتطلب المنهجيات والمقاييس الإضافية لتقييم الأداء التحليل الكمي والنوعي لتحديد كفاءة هذه المنهجيات والمقاييس

معدل الخطأ في الرزم ( <i>Packet error ratio</i> )	PER
شبه خالية من الخطأ ( <i>Quasi error free</i> )	QEF
ثانية شديدة الخطأ ( <i>Severely errored second</i> )	SES
نسبة الإشارة إلى الضوضاء ( <i>Signal to noise ratio</i> )	SNR
تعدد الإرسال بتقسيم الزمن ( <i>Time division multiplex</i> )	TDM
النفاز المتعدد بتقسيم الزمن ( <i>Time division multiple access</i> )	TDMA
نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( <i>Carrier to noise ratio <math>\gamma</math></i> )	C/N
نسبة الطاقة لكل رمز / كثافة طيفية للضوضاء ( <i>Symbol energy to noise spectral density ratio</i> )	$E_s/N_0$
كفاءة طيفية بوحدات bit/s/Hz ( <i>Spectral efficiency in bit/s/Hz</i> )	$\eta$
نسبة انحطاط الصيبي ( <i>Percent degraded throughput</i> )	$\phi_{total}$

### توصيات وتقارير الاتحاد الدولي للاتصالات ذات الصلة

الأداء من حيث الأخطاء المسموح بها في مسير ساتلي رقمي افتراضي مرجعي من الخدمة الثابتة الساتلية يعمل تحت 15 GHz ويشكل جزءاً من توصيل دولي في شبكة رقمية متكاملة الخدمات	التوصية ITU-R S.614-4
استخدام استراتيجيات وتقنيات ترتيبات مضادة للخبو في الخدمة الثابتة الساتلية	التوصية ITU-R S.1061-1
الأداء من حيث الأخطاء المسموح بها في مسير رقمي افتراضي مرجعي لساتل يعمل تحت 15 GHz	التوصية ITU-R S.1062-4
معلومات وأهداف الأداء من حيث الخطأ من طرف إلى طرف في المسيرات والتوصيلات الرقمية الدولية ذات معدل البتات الثابت	التوصية ITU-T G.826
تقنيات الإرسال القائم على موجات حاملة متعددة في الأنظمة الساتلية	التوصية ITU-R S.1878-0
الأداء من حيث الأخطاء قصيرة الأجل المسموح بها في مسير رقمي افتراضي مرجعي لساتل	التوصية ITU-R S.2099-0
تقنيات الإرسال القائم على موجات حاملة متعددة في الأنظمة الساتلية	التقرير ITU-R S.2173-1

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

- (أ) أن اعتماد التشفير والتشكيل التكمييين (ACM) وخطية مكبر القدرة أدى إلى تحسين كفاءة السواتل وأداء الإرسال؛
- (ب) وأن الأنظمة الساتلية التي تستخدم تقنيات التشفير والتشكيل التكمييين ستتكيف مع الظروف المتدهورة بتخفيض الصيبي الإجمالي وبالتالي، لن تكون قادرة على توفير الخدمات بمعدلات بتات ثابتة؛
- (ج) وأن أداء الوصلة الساتلية يجب أن يكفي للسماح بالالتزام بأهداف الأداء الإجمالية من طرف إلى طرف وبمتطلبات المستعمل النهائي؛
- (د) وأن الضرورة تقتضي أن تؤخذ في الحسبان جميع الآليات المهمة لوقوع الخطأ لدى تحديد معايير الأداء من حيث الخطأ، لا سيما ظروف الانتشار المتغيرة مع الوقت والتداخل،

وإذ تلاحظ

- (أ) أن أهداف الأداء من حيث الخطأ في الأجل الطويل متوفرة في التوصيتين ITU-R S.614 وITU-R S.1062؛
- (ب) وأن تعريف الأجل القصير في مجال الاتصالات الساتلية وأهداف الأداء قصيرة الأجل يرد في التوصية ITU-R S.2099؛
- (ج) وأن المعلومات المتعلقة بتقنيات الإرسال التكميبي والتحكم في القدرة التي يمكن استعمالها للتعويض عن التوهين المتغير مع الوقت متوفرة في التوصية ITU-R S.1061 والتوصية ITU-R S.1878 والتقرير ITU-R S.2173؛
- (د) وأن انحطاط الوصلة الساتلية الناجم عن انحطاط الانتشار الذي يمكن توصيفه باستخدام النماذج الواردة في التوصيتين ITU-R P.618-13 وITU-R P.1623-1، وتنطبق هاتان التوصيتان المتعلقةتان بالانتشار حتى 51,4 GHz،

توصي

- 1 بأن تُصمم الأنظمة الساتلية التي تستخدم التشفير والتشكيل التكميبيين لتلبي أهداف الأداء المحددة من حيث معدل الخطأ في الرزم (PER) أو الكفاءة الطيفية (بوحدة bit/s/Hz) بدالة نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/N$ )؛
- 2 وبأن تعتبر الملاحظات التالية جزءاً من هذه التوصية.

الملاحظة 1 - في حالة استعمال معدل الخطأ في الرزم، ينبغي استعمال القيمة المبينة في الجدول 3 في الفقرة 2.2 من الملحق.

الملاحظة 2 - في حالة استعمال أهداف الأداء المحددة من حيث الكفاءة الطيفية، يُفترض ألا تكون الكفاءة الطيفية، المقاسة بقيمة التشغيل  $\gamma$  بوحدة dB أقل من  $\eta(\gamma - 1.0)$ ، حيث أن  $\gamma$  هي نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء ( $C/N$ ) بوحدة dB، و  $\eta(\gamma)$  هي الكفاءة الطيفية بوحدة bit/s/Hz بدالة القيمة  $\gamma$  المحددة في الفقرة 3.2 من الملحق.

الملاحظة 3 - يُفترض أن النظام قادر على استيعاب انخفاض قدره 1 dB في النسبة  $C/N$  خلال فاصل زمني مدته ثانية واحدة عند تغيير حالة التشكيل والتشفير (MODCOD). وهذا يقابل انخفاضاً بنسبة حوالي 10% في الكفاءة الطيفية (الصبيب أو السعة) عبر وصلة ساتلية غير خطية. وقد يُعزى هذا الانخفاض في النسبة  $C/N$  إلى أي مصدر للضوضاء الخارجية والخبو الناجم عن المطر.

الملاحظة 4 - جدير بالإشارة إلى أن متوسط الصبيب عبر الزمن لا يعطي أي معلومات عن أداء الوصلة عند نسبة مئوية معينة من الوقت خلال سنة معينة. ولذلك، فإن انحطاط الصبيب عند نسب مئوية معينة من الوقت هو مقياس محتمل قد يتعين أن يؤخذ بعين الاعتبار في التقييم العام لأداء وصلة تستعمل تقنيات التشكيل والتشفير التكميبيين. وجدير بالإشارة أيضاً إلى أن انحطاط الصبيب عند نسب مئوية معينة من الوقت هو قيمة وسيطة للمتوسط المذكور أعلاه، وأن جميع الدراسات التقنية المتعلقة بمتوسط الأداء لوصلة ACM تتضمن البيانات ذات الصلة لتقييم هذا الهدف المحتمل للأداء.

## الملحق

### مثال لطريقة تحديد أهداف أداء المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية الساتلية التي تستعمل التشفير والتشكيل التكميبيين

#### 1 خلفية

أعدت التوصيات الحالية بشأن الأداء والتيسر في حالة الخطأ مراعاة واقع أن الوصلات الساتلية يمكن أن تتدهور بسبب انحطاط الانتشار الذي يمكن وصفه باستخدام النماذج المقترحة في التوصيتين ITU-R P.618-13 وITU-R P.1623-1. وقد بينت الدراسات التي أجرتها لجنة الدراسات 3 أن هذه التوصيات بشأن الانتشار تنطبق حتى 51,4 GHz، ولكن، لا توجد توصيات بشأن مسارات مائة تستعمل ترددات فوق 52 GHz. وفي ضوء هذه المعلومات، تنطبق التوصيات الحالية بشأن الأداء والتيسر في حالة الخطأ على المسارات الرقمية المرجعية الافتراضية (HRDP) حتى 52 GHz.

وقد أدى تطوير واعتماد تقنيات التشفير والتشكيل التكييفيين وخطية مكبر القدرة من جانب مصنعي ومشغلي المعدات الساتلية إلى تحسين كفاءة السواتل وأداء الإرسال. ويسمح استخدام تقنية ACM بالحفاظ على المسير الرقمي المرجعي الافتراضي (HRDP) للسواتل على الرغم من انخراط الأداء ولكن بمعدلات صبيب أقل. ويصف التقرير ITU-R S.2173 والفقرة 2 من الملحق 1 بالتوصية ITU-R S.2099 تطبيق تقنيات ACM على أنظمة الإرسال الساتلية.

### 1.1 أهداف الأداء للمسيرات HRDP بمعدل بتات ثابتة

تقدم التوصية ITU-R S.1062 أهداف الأداء بخصوص المسيرات HRDP للسواتل التي توفر خدمات بمعدلات بتات ثابتة. وكثيراً ما كانت هذه التوصيات تُستخدم في الحركة الساتلية في بداية التسعينات، قبل انتشار الألياف البصرية والكبلات البحرية. وتستند التوصية ITU-R S.1062 إلى المتطلبات المقدمة في التوصية ITU-T G.826. وترد هذه المتطلبات من حيث الفدرات المشوبة بالخطأ على عكس الأخطاء الواردة في البتات الفردية. وتعرف التوصية ITU-T G.826 أهداف الأداء من حيث معدلات الفدرات الخلفية المشوبة بالخطأ (BBER) التي تتراوح قيمتها بين  $2 \times 10^{-4}$  و  $1 \times 10^{-4}$  تبعاً لمعدل الخدمة حتى 3,5 Gbit/s، ولا يتم قياس المعدل BBER إلا أثناء وقت التيسر. ويرد أدناه جزء من الجدول 1 المقتطف من التوصية ITU-T G.826 للرجوع إليه.

#### الجدول 1

أهداف الأداء من طرف إلى طرف المحددة في التوصية ITU-T G.826 لمسير رقمي افتراضي مرجعي (HRDP) أو بتوصيل افتراضي مرجعي (HRX) يبلغ 27 500 km

المعدل	64 kbit/s	1,5 إلى 5 (Mbit/s)	5 إلى 15 (Mbit/s)	15 إلى 55 (Mbit/s)	55 إلى 160 (Mbit/s)	< 160 إلى 3 500 (Mbit/s)
عدد البتات في الفدرة		5 000-800	8 000-2 000	20 000-4 000	20 000-6 000	30 000-15 000
نسبة التوائي الخطأ	0,04	0,04	0,05	0,075	0,16	
نسبة التوائي شديدة الخطأ	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
معدل خطأ الفدرة الخلفية		$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-4}$	$10^{-4}$

يوزع على قفزة ساتلية في الجزء الدولي 35% من جميع الأهداف من طرف إلى طرف، في أنظمة نقل الاتصالات العاملة بأي معدل بتات كان تغطيه التوصية ITU-T G.826، إما فوق أو تحت المعدل الأولي، بغض النظر عن المسافة الفعلية المغطاة. إذا كانت الوصلة الساتلية تؤمن الجزء الوطني، حينئذ تتلقى توزيعاً قدره 35% من جميع الأهداف من طرف إلى طرف. فعلى سبيل المثال، يُعدل هدف المعدل BBER البالغ  $2 \times 10^{-4}$  إلى  $0,35 \times 2 \times 10^{-4} = 0,7 \times 10^{-4}$  من أجل توصيل دولي، في حين يُعدل إلى  $0,42 \times 10^{-4} = 2 \times 10^{-4}$  من أجل توصيل وطني. وإذا يسّر ساتل ما المسير بالكامل أو توصيل من طرف إلى طرف حينئذ تنطبق الأهداف الواردة في الجدول 1.

ويُحدد حجم الفدرة أيضاً تبعاً لمعدل بتات الخدمة. ومن هذا المنظور، تعرف التوصية ITU-R S.1062 أهداف الأداء من حيث النسبة  $BEP/\alpha$ ، حيث يشير BEP إلى احتمال الخطأ في البتات ويشير  $\alpha$  إلى عدد الأخطاء لكل رشقة. وفيما يلي مثال لأهداف الأداء المحددة للنظام الساتلي الذي يعمل بمعدل يصل إلى 155 Mbit/s.



## الجدول 2

## أهداف الأداء المحددة في التوصية ITU-R S.1062

For $\alpha = 10$ (BEP)	BEP/ $\alpha$	النسبة المئوية من مجمل الوقت (أسوأ شهر)
$6-10 \times 1$	$7-10 \times 1$	0,2
$8-10 \times 1$	$9-10 \times 1$	2
$9-10 \times 1$	$10-10 \times 1$	10

وجدير بالإشارة إلى أن هذا النوع من التوصيل الساتلي كان موجهاً للتوصيلات الدائمة عالية السرعة التي توفر وصلة عابرة للقارات ذات قدرة عالية توفر في المقام الأول الخدمات الهاتفية أو حركة البيانات منخفضة المعدل. وكانت هذه الوصلات تُسير في معظم الأحيان عبر محطات أرضية كبيرة تعمل في النطاقات 4/6 GHz، حيث تكون اضطرابات الانتشار صغيرة جداً.

وفي الوقت الحالي، تقوم التوصيلات الساتلية ثنائية الاتجاه أساساً بحمل حركة الإنترنت. وتكون هذه التوصيلات لا تناظرية عموماً ولها محطة محورية ترسل تدفقات بمعدلات بنات عالية يمكن أن تستعمل تقنية النفاذ المتعدد بتقسيم التردد (TDM) أو النفاذ المتعدد بتقسيم الزمن (TDMA). وترسل محطات المشتركين بمعدلات أقل بكثير من معدلات المحطة المحورية ولها دورة تشغيل منخفضة. وهذه هي أنواع الأنظمة التي ستستخدم وصلات بترددات أعلى؛ ولتكون قادرة على القيام بذلك على نحو فعال، ستعتمد على تقنيات ACM لتحقيق صبيب موثوق وكفاءة طيفية عالية. وعند ترددات أقل من 20 GHz، تكون الاضطرابات الناجمة عن الانتشار أكثر أهمية بكثير مما هي عليه في النطاقات 4/6 GHz.

## 2.1 النتائج التجريبية للخصائص الدينامية للخبو الناجم عن المطر

لوحظ أن متوسط ميل الخبو المقدر انطلاقاً من نظام ساتلي في النطاق Ku بلغ 0,24 dB/s<sup>2</sup>. ويعرض الشكل 1 البيانات الإحصائية لميل الخبو المقيسة في نظام اتصالات ساتلية في النطاق Ka في جمهورية كوريا<sup>3</sup>. وفي هذا الشكل، يشير A إلى عمق الخبو الناجم عن المطر بوحدة dB، ويشير  $\Delta A$  إلى ميل الخبو بوحدة dB/s، حيث أن  $\overline{\Delta A}$  هو متوسط القيمة  $\Delta A$ . ويبين هذا الشكل أن متوسط ميل الخبو أقل من 1 dB في جميع مديات الخبو.

وتشير دراسة تجريبية تقوم على استخدام منصة الاختبار DVB-S2 وتقنية ACM عبر وصلة ساتلية، في الفقرة E.3 من الوثيقة DVB A171-1<sup>4</sup>، إلى أن ميل الخبو الأقصى المقابل لحالات الأمطار الغزيرة في النطاق Ka لا يتجاوز عادةً 0,5 dB/s، ومن ثم، تعتبر مدة تحديث العروة ACM التي تبلغ ثانية واحدة واقعية في معظم الأوقات. وتتعلق النتائج التجريبية الموضحة هنا بالأنظمة التي تعمل في النطاق Ka. وبالإضافة إلى ذلك، لتقليل عدد تعديلات التشكيل والتشفير (MODCOD)، ونظراً إلى حجم الخطوة المعتاد بين مستويين MODCOD مجاورين بالنسبة لمنصة الاختبار DVB-S2، أُضيف تحالف اسمي قدره 0,3 dB عند أعلى العتبة بالمقارنة مع أسفل العتبة مما أدى إلى تأثير تخلفي.

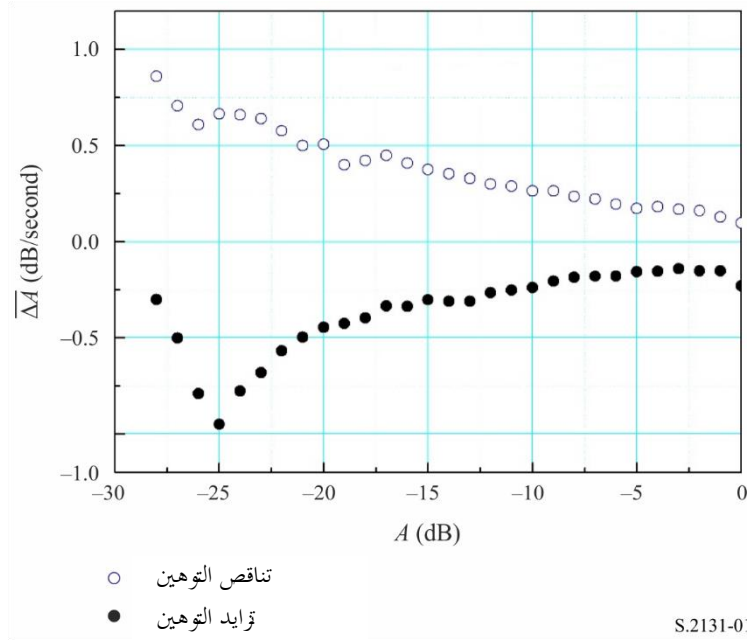
<sup>2</sup> Sooyoung Kim Shin, Kwangjae Lim, Kwonhue Choi, and Kunseok Kang, "Rain attenuation and Doppler shift compensation for satellite communications", *ETRI Journal*, المجلد 24، رقم 1، فبراير 2002، صفحات 31-42.

<sup>3</sup> KMeixiang Zhang and Sooyoung Kim, "A Statistical Approach for Dynamic Rain Attenuation Model," الدورة التاسعة والعشرون للمنتدى AIAA، المؤتمر الدولي لأنظمة الاتصالات الساتلية (ICSSC)، Nara، اليابان، 28 نوفمبر - 1 ديسمبر 2011

<sup>4</sup> DVB Document A171-1. Digital Video Broadcasting (DVB), Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 1 (DVB-S2)، مارس 2015.

الشكل 1

متوسط ميل الخبو في نظام ساتلي في النطاق Ka



2 معلمات الأداء المنطقية

1.2 الحاجة إلى أهداف جديدة للأداء من أجل المسيرات HRDP بمعدل بتات متغير

تتناول التوصيات الحالية بشأن الأداء في حالة الخطأ (مثل التوصية ITU-R S.1062-4) المسيرات HRDP بمعدل بتات ثابت وبالتالي فهي لا تنطبق على الأنظمة التي تستخدم تقنيات ACM. ويتمثل جانب مهم لتقنيات ACM في أن خصائص معدل الخطأ في البتات لمختلف الأساليب MODCOD تُظهر زيادة سريعة في معدل الخطأ في البتات فيما يتعلق بالنسبة  $C/N$ ، حيث تشير  $N$  إلى الضوضاء الكلية في الوصلة، بما في ذلك الضوضاء الحرارية والتداخل. ويبلغ الفرق  $C/N$  بين نسبة BER عاملة تبلغ  $10^{-8}$  مثلاً ومعدل BER مندهور يبلغ  $1 \times 10^{-3}$  حوالي 0,25 dB بالنسبة لحالة MODCOD معينة.

ويُحدد العديد من أهداف الأداء المتعلقة بالأنظمة الساتلية بالنسبة إلى معدل الخطأ في الرزم (PER) في سياق الإرسال بالرمز، وتبين خصائص المعدل PER نفس الانخفاض السريع تقريباً في السلوك كما هو الحال بالنسبة لمعدل الخطأ في البتات. ويعني هذا السلوك أن أداء الساتل من حيث المعدل PER كدالة للوقت لا صلة له بالأنظمة الساتلية التي تستعمل تقنيات ACM علماً أن هذه الأنظمة ستتكيف مع الظروف المتدهورة بتخفيض الصبيب العام وبالتالي، لم تعد أنظمة ذات معدل ثابت. وقد تم النظر بالفعل في مفهوم قياس أداء الوصلات الساتلية التي تستخدم تقنيات ACM استناداً إلى متوسط الصبيب أو انخراط الصبيب<sup>5</sup>. وتتناول الوثيقة المذكورة في المرجع التطبيقات ACM التي تسمح بانخفاض معدل المعلومات. ويمكن استعمال مفهوم انخراط الصبيب الوارد في هذا الملحق لتقييم انخفاض معدل المعلومات.

<sup>5</sup> Gerald Shewan, "Alternative Measure of Performance for Satellite Links Employing Adaptive Coding and Modulation", الدورة الثلاثون للمنتدى AIAA، المؤتمر الدولي لأنظمة الاتصالات الساتلية (ICSSC-2012)، 24-27، سبتمبر 2012،

أوتاوا، كندا.



وإن احتمال تدهور المعدل PER لنظام ساتلي يستعمل تقنيات ACM إلى مستوى غير قابل للاستخدام احتمال ضئيل للغاية إلى أن يستنفد التشفير MODCOD بدائل التشفير المتاحة له. ولذلك، لم يعد من الضروري تحديد هدف الأداء في حالة الخطأ وقيمة التيسر لتحديد أداء المسيرات HRDP للساتل. وعلاوة على ذلك، سيكون هدف الأداء المناسب مستقلاً عن معدل القناة ويمكن تطبيقه على أي معدل "معين" يتم استخدامه.

## 2.2 معدل الخطأ في الرزم

تعرف المواصفة DVB-S2(X) شرط القيمة شبه الخالية من الأخطاء (QEF) كمعدل خطأ في الرزم يبلغ (PER)  $10^{-7}$ ، مع طول رزمة يبلغ 188 بايتة مقابل لطول الرزمة MPEG. ويقابل هذا المعدل أيضاً معدل خطأ في الرتل (FER) قدره  $10^{-5}$  مع حجم للرتل يبلغ 16 200 أو 64 800 بايتة. وبما أن منحى المعدل PER أو FER ذو ميل شديد، فإن اختلافات النسبة  $C/N$  بين معدل PER قدره  $10^{-7}$  و  $10^{-5}$ ، لا تتجاوز عادةً 0,1 dB بغض النظر عن جميع حالات التشفير MODCOD.<sup>6</sup>

وقد تم تنفيذ مودم DVB-S2 باستعمال البرمجيات وتم تشغيله في ظروف تغيير الحالة ACM بمعدل PER يبلغ  $10^{-7}$ . ونظراً إلى طول وقت الانتشار ذهاباً وإياباً (RTT)، صُمم المودم DVB-S2 لتغيير حالة التشفير MODCOD في شرط القيمة شبه الخالية من الأخطاء قبل هذا الميل الشديد للمعدل PER.

وإذا تم الإرسال باستعمال أرتال (أو رزم)، عندئذ، يمكن مقابلة العلامات BBER المعرفة في التوصية ITU-T G.826 مع المعدل FER أو PER علماً أن حجم الفدرات المحدد في الجدول 1 يمكن أن يكون متوافقاً مع حجم الرزمة أو الرتل.

ومن ثم، يمكن تحديد أهداف الأداء لنظام ساتلي يستعمل تقنيات ACM من خلال تعديل أهداف الأداء الواردة في الجدول 2، واستخدام المعدل PER على النحو المبين في الجدول 3.

### الجدول 3

#### أهداف الأداء لنظام ساتلي يستعمل تقنيات ACM من حيث المعدل PER

النسبة المئوية من مجمل الوقت	معدل الخطأ في الرزم (PER)
0,04% من السنة	$10^{-4} >$
0,6% من السنة	$10^{-5} >$
4,0% من السنة	$10^{-7} >$ <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> يُفترض أن القيمة PER البالغة  $10^{-7}$  تساوي القيمة FER البالغة  $10^{-4}$  ويُفترض أيضاً أنها تساوي القيمة BBER البالغة  $10^{-4}$  الواردة في الجدول 1.

## 3.2 الكفاءة الطيفية كدالة للنسبة $C/N$

يمكن لسعة القناة الممثلة بحدود Shannon-Hartley أن توفر كفاءة طيفية مقدّرة بالوحدات bit/s/Hz، ويمكن لهذه الكفاءة الطيفية أن تُقدم كدالة للنسبة  $C/N$ . ويمكن تمثيل الكفاءة الطيفية كدالة للنسبة  $C/N$ ، على النحو التالي في حالة الحدود Shannon-Hartley التي تشكل القيمة القصوى التي يمكن تحقيقها.

$$(1) \quad \eta(\gamma) = \log_2(10^{\gamma/10} + 1)$$

<sup>6</sup> مزيد من المعلومات بشأن المواصفة DVB-S2X، انظر الوثيقة DVB Document A171-2، Digital Video Broadcasting (DVB), DVB Document A171-2, Implementation guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications; Part 2 – S2 Extensions (DVB-S2X), مارس 2015.

<sup>7</sup> Joon-Gyu Ryu, Deock-Gil Oh, Hyun-Ho Kim, and Sung-Yong Hong, "Proposal of an Algorithm for an Efficient Forward Link Adaptive Coding and Modulation System for Satellite Communication", Journal of Electromagnetic Engineering and Science, المجلد 16، رقم 2، أبريل 2016، صفحات 80-86.

حيث أن القيمة  $\eta$  هي الكفاءة الطيفية بوحدة bit/s/Hz والقيمة  $\gamma$  هي النسبة  $C/N$  التي تساوي في هذه الحالة نسبة الطاقة لكل رمز/كثافة طيفية للضوضاء ( $E_s/N_0$ ) بوحدة dB.

وإذا كان أحد الأنظمة يستخدم تقنيات ACM مع أساليب MODCOD متعددة، يمكن استخلاص القيمة  $\eta(\gamma)$  وتحديد هدف الأداء للحفاظ على القيمة  $\eta(\gamma)$  مع هامش معين من خلال النظر في تغييرات الحالة ACM خلال فاصل زمني يبلغ ثانية واحدة تقريباً.

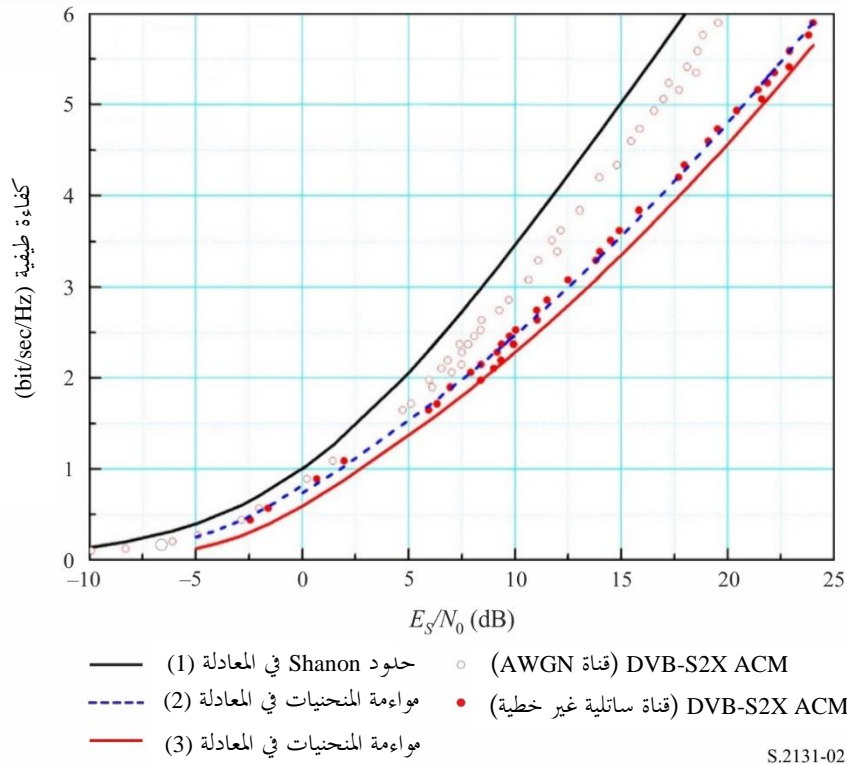
وبالتالي، يمكن أن يستند أحد أهداف الأداء إلى الكفاءة الطيفية للنظام التي ينبغي ألا تكون أقل من  $\eta(\gamma - 1.0)$  من أجل قيمة معينة تبلغ  $\gamma$  بوحدة dB.

ولتوضيح كيفية تطبيق الكفاءة الطيفية لتحديد هدف الأداء، تُستخدم الخصائص DVB-S2X<sup>8</sup>.

وترد في الشكل 2 مقارنة للكفاءة الطيفية للنظامين DVB-S2 و DVB-S2X اللذين يستخدمان تقنيات ACM MODCOD مع حدود Shannon-Hartley

الشكل 2

مقارنة الكفاءة الطيفية (السعة)



<sup>8</sup> ينبغي ألا يُعتبر استخدام خصائص النظام DVB-S2X اعترافاً بهذا النظام على حساب تقنية ACM بديلة. واستُخدمت خصائص النظام DVB-S2X لأنها متاحة بجرية في المجال العام واستخدام هذه الخصائص لا يخضع لقيود الملكية الفكرية.

من خلال موازنة الكفاءة الطيفية للنظام DVB-S2X الذي يستعمل تقنيات ACM على قناة ساتلية غير خطية باستعمال متعددتي حدود من الدرجة الثانية لمعرفة الحد الأدنى للخطأ بطريقة المربعات الصغرى، يتم اشتقاق المعادلات التالية<sup>9</sup>:

$$\eta(\gamma) = 0,8181 + 0,1607\gamma + 0,0096\gamma^2 \text{ for } -5 \leq \gamma < 0$$

(2)

$$\eta(\gamma) = 0,7375 + 0,1433\gamma + 0,003\gamma^2 \text{ for } \gamma \geq 0$$

وللحصول على موازنة تقريبية للمنحنى في الجزء السفلي منه، تم تخفيض الثابت 0,8181 في الجزء  $(-5 \leq \gamma < 0 \text{ dB})$  من المنحنى بعامل يتراوح بين 0,08 و 0,7375 بحيث تتم موازنة الأجزاء العليا والسفلى من المنحنى عند نفس القيمة  $\gamma$  من أجل  $E_s/N_0 = 0$ . وجدير بالإشارة أيضاً إلى أنه في الشكل 2، تبين نقاط المنحنى للنظام DVB-S2X (القناة AWGN) في الجزء الأيسر السفلي من الشكل أن اختلاف الكفاءة الطيفية بين القناة AWGN والقناة غير الخطية يقل عند انخفاض القيمة  $E_s/N_0$  إلى ما دون الصفر. وفي المعادلة (2)، حيث يُعدل الحد الثابت في الجزء السفلي من المنحنى، يمكن زيادة تعديل المنحنى لتجسيد سلسلة البيانات المقابلة للكفاءة الطيفية على النحو التالي:

$$\eta(\gamma) = 0,5933 + 0,1415\gamma + 0,0096\gamma^2, \text{ for } -5 \leq \gamma < 0,$$

(3)

$$\eta(\gamma) = 0,5933 + 0,1388\gamma + 0,003\gamma^2, \text{ for } \gamma \geq 0.$$

ويوفر هدف الأداء زيادة قدرها 1 dB بالنسبة لأداء النظام DVB-S2X للسماح بمراعاة الانحطاط في القناة في بيئة تشغيل نمطية. وفي هذا المثال، يتبين بوضوح من الشكل 2 أنه في وصلة ACM تستخدم النظام DVB-S2X ACM عبر قناة ساتلية غير خطية، يؤدي انخفاض قدره 1 dB في قيمة النسبة  $C/N$  إلى انخفاض بنسبة 10% في الكفاءة الطيفية التي يمكن تحقيقها. ولا يمكن التوصل إلى نفس النتيجة بالنسبة للوصلات التي تستخدم توليفات MODCOD مختلفة عن تلك التي يستخدمها النظام DVB-S2X. ويعتمد الانخفاض الفعلي في الكفاءة على القيمة  $C/N$  الاسمية قبل الانحطاط.

وكان النظام المقدم كمثال بهذا الصدد قادراً على استيعاب انخفاض يبلغ 1 dB في النسبة  $C/N$ ، خلال فاصل زمني مدته ثانية عند تغيير حالة ACM. وهذا الانحطاط في النسبة  $C/N$  سيعزى إلى جميع مصادر الضوضاء الخارجية وإلى الحبو الناجم عن المطر. ويعد الشكل 2 والاستنتاجات المستمدة منه أمثلة لأنظمة تستخدم DVB-S2X، ولكن يمكن تطبيق هذه المنهجية على وصلات ساتلية أخرى تستخدم أنواعاً أخرى من تقنيات ACM.

## 4.2 انحطاط الصبيب

يسمح استخدام تقنيات ACM في النظام الساتلي بالحفاظ على توصيل ساتلي على الرغم من انحطاط الصبيب ولكن مع توفير قدر أقل من الصبيب. وانحطاط الصبيب الملاحظ عند خرج المسير HRDP للساتل الذي يستخدم تقنيات ACM، يمكن أن يكون ذا صلة بالكفاءة الطيفية من خلال افتراض معقول يفيد بأن الصبيب يتغير بصورة مباشرة مع الكفاءة الطيفية. وعلى أساس هذا الافتراض، يمكن حساب الصبيب كدالة للنسبة  $C/N$  التي تتغير تبعاً لظروف الانتشار والتداخل.

وفيما يلي مثال لاستخدام النظام DVB-S2X في وصلة ساتلية تتأثر بالخبو فقط في جنوب فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية. وباستخدام الطريقة الواردة في التوصية ITU-R P.618، يمكن حساب قيم للنسبة  $C/N$  على مدى فترة زمنية معينة تتجاوز القيم التي يمكن الحصول عليها على مدى سنة متوسطة. وعلى سبيل المثال، يبين الشكل 3 القيم المتعلقة بوصلة ساتلية تعمل في النطاق GHz 38,5 في منطقة ذات مناخ مماثل لمناخ جنوب فلوريدا. وبالنسبة للتردد والموقع المفترضين المستعملين لحساب المنحنى الوارد في

<sup>9</sup> يُستخدم النظام DVB-S2X كمثال لأن هذا المعيار مستعمل على نطاق واسع وخصائصه متاحة في المجال العام. ويمكن القيام بنفس الاشتقاق فيما يخص أي تقنية ACM بديلة.

الشكل 4، وبافتراض هامش قدره 1 dB لاستيعاب أي تداخل ممكن، سيؤدي التوهين إلى عدم تيسر النظام بنسبة 0,4% أي ما يعادل تيسراً بنسبة 99,6%. ويبلغ المدى الدينامي للوصلة المذكورة أعلاه 30 dB.

وتعتمد النسبة المئوية من الوقت التي تكون فيها وصلة معرضة فقط للخبو بسبب الانتشار وتهدب إلى ما دون أدنى كفاءة طيفية على ما يلي:

1 المناخ السائد في موقع محطة الاستقبال الأرضية؛

2 شكل الموجة (مثل DVB-S2X، وDVB-S2، وما إلى ذلك) وتحديد أعلى تشفير (التشفير MODCOD الأقوى) متوفر ينفذه شكل الموجة هذا.

وكاعتبار إضافي، ينبغي الإشارة إلى أن المدى الدينامي يعتمد على تصميم النظام وهو محدود بتأثيرات الانتشار ولذلك قد لا يستوعب المدى الدينامي النظري الكامل لشكل الموجة المستخدم.

ولأسباب تشغيلية، يمكن الوصول إلى نقطة يكون فيها شكل الموجة لا يزال فعالاً ولكن الوصلة تعتبر غير متوفرة. وفي هذه الحالة، يمكن أن يكون المدى الدينامي أقل من قدرة شكل الموجة. ويمكن تعويض هذا الانخفاض القصير في المدى الدينامي بزيادة هامش الوصلة.

وعلى الرغم من أن وصلة ساتلية تستعمل تقنيات ACM يمكن أن تحافظ على التوصيل بصيب منخفض، يمكن حساب خسارة الصيب الذي يمكن تحقيقه والمعبّر عنه بجزء من الصيب الأقصى خلال نسبة مئوية محددة من الوقت على النحو التالي:

$$(4) \quad \varphi(T\%) = 1 - \frac{\eta(\gamma(T\%))}{\eta_{max}}$$

حيث يشير  $\eta_{max}$  إلى الكفاءة الطيفية القصوى التي يمكن تحقيقها، ويشير  $T\%$  إلى النسبة المئوية من الوقت، ويشير  $\gamma(T\%)$  إلى النسبة  $C/N$  التي يمكن تحقيقها  $T\% \leq$  ويشير  $\varphi(T\%)$  إلى انحطاط الصيب الذي يمكن تحقيقه.

وبذلك، يمكن حساب خسارة الصيب ( $\varphi_{total}$ ) عن طريق دمج الكفاءة الطيفية عددياً خلال الفترة التي يتيسر فيها التوصيل على النحو التالي:

$$(5) \quad \varphi_{total} = \int \left( 1 - \frac{\eta(\gamma(T\%))}{\eta_{max}} \right) dT\% \approx \sum \varphi(T\%) \Delta T\%$$

ويمكن الحصول على الكفاءة الطيفية  $\eta$  المقابلة خلال نسبة مئوية محددة من الوقت بإدراج النسبة  $C/N$ ، أي القيمة  $\gamma$  في المعادلة (3). ويقدم الجدول 4 مثالاً لحساب أداء الوصلات التي تستخدم تقنيات ACM، وتم حساب هذا الأداء بتحديد متوسط خسارة الصيب  $\varphi_{total}$  فيما يخص الأنظمة الساتلية، على النحو المبين في الشكل 4 وذلك استناداً إلى دالة التوزيع التراكمية للصيب الممكن تحقيقه،  $\varphi(T\%)$ . وفي هذا المثال، تبلغ  $\eta(24) = \eta_{max}$  حوالي 5,653. ويبين الشكل 4 منحنى الكفاءة الطيفية  $\eta(\gamma(T\%))$  والتدهور الناجم في الصيب الممكن تحقيقه  $\varphi(T\%)$ . وفي هذا المثال، يبلغ متوسط خسارة الصيب  $\varphi(T\%)$  المقدر باستعمال المعادلة (5) حوالي 4,678% عندما يبلغ المدى الدينامي حوالي 30 dB.

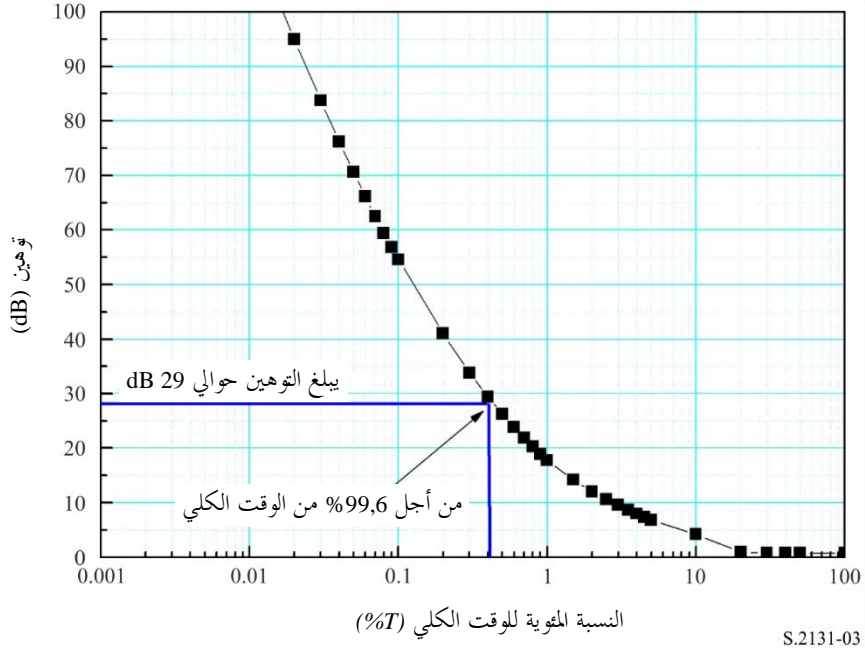
## الجدول 4

مثال عن تقدير انحطاط الصبيب

$\varphi(T_{\%}) \Delta T_{\%}$	$\Delta T_{\%}$	$\varphi(T_{\%})$	$\eta(\gamma(T_{\%}))$	$C/N, \gamma(T_{\%})$ (dB)	إجمالي التوهين (dB)	$T_{\%}$
$0,098 = 0,975 \times 0,1$	0,1	$0,975 = 1 - (0,141/5,653)$	0,141	-4,69	29,413	0,4
$0,093 = 0,93 \times 0,1$	0,1	0,930	0,397	-1,550	26,277	0,5
0,087	0,1	0,873	0,719	0,885	23,842	0,6
0,082	0,1	0,821	1,011	2,834	21,893	0,7
0,078	0,1	0,775	1,269	4,443	20,285	0,8
0,073	0,1	0,735	1,500	5,803	18,925	0,9
0,349	0,5	0,698	1,707	6,974	17,754	1
0,289	0,5	0,577	2,390	10,540	14,187	1,5
0,248	0,5	0,497	2,844	12,718	12,009	2
0,222	0,5	0,444	3,145	14,093	10,634	2,5
0,201	0,5	0,403	3,376	15,111	9,617	3
0,183	0,5	0,366	3,585	16,011	8,716	3,5
0,168	0,5	0,335	3,759	16,744	7,983	4
0,154	0,5	0,309	3,906	17,357	7,371	4,5
0,172	0,6	0,286	4,034	17,879	6,849	5
0,257	1	0,257	4,198	18,54	6,186	5,6
0,319	1,4	0,228	4,365	19,20	5,524	6,6
0,395	2	0,198	4,535	19,87	4,861	8
0,368	2,2	0,167	4,707	20,529	4,199	10
0,298	2,3	0,130	4,920	21,34	3,392	12,2
0,228	2,5	0,091	5,137	22,14	2,585	14,5
0,156	3	0,052	5,359	22,95	1,778	17
0,122	10	0,012	5,584	23,756	0,972	20
0,025	10	0,003	5,638	23,950	0,778	30
0,013	10	0,001	5,645	23,975	0,753	40
0,000	50	0,000	5,653	24,000	0,727	50
0,000	0	0,000	5,653	24,000	0,727	100
4,678	$\varphi_{total}$					

الشكل 3

التوهين بسبب خسارة الانتشار وفقاً للتوصية ITU-R P.618 من أجل توصيل ساتلي يستخدم تقنيات ACM ويُشغل في منطقة ذات مناخ مماثل لمناخ جنوب فلوريدا، الولايات المتحدة الأمريكية



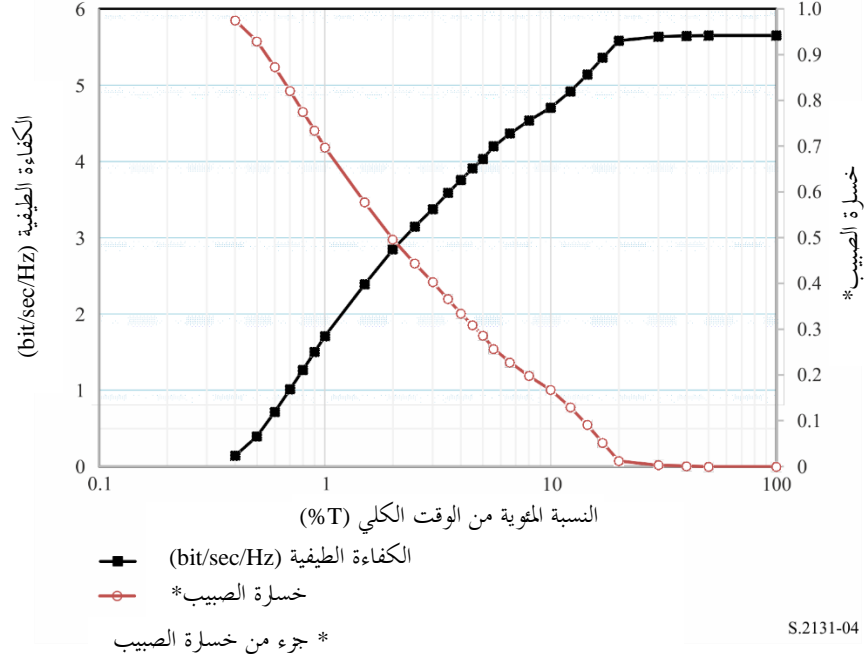
بافتراض أن التوصيل الساتلي سيخضع للتوهين بدالة نسبة الوقت الكلي على النحو المبين في الشكل 4، فإن متوسط خسارة الصبيب الذي يمكن توقعه سيبلغ 4,678% من إجمالي الصبيب الممكن.

- (6) الصبيب = معدل القناة × الوقت
  - (7) خسارة الصبيب = الصبيب الأقصى المتيسر - الصبيب المقدم
  - (8) النسبة المئوية لانحطاط الصبيب = (خسارة الصبيب/الصبيب الأقصى المتيسر) × 100
- ويرد في المرفق بالملحق مثال لحساب انحطاط الصبيب معبراً عنه بالنسبة المئوية.



الشكل 4

الكفاءة الطيفية وخسارة الصيبي\* فيما يخص توصيل ساتلي يستخدم تقنيات ACM ويُشغل في منطقة ذات مناخ مماثل لمناخ جنوب فلوريدا، الولايات المتحدة الأمريكية



## مرفق بالملحق مثال لحساب انحطاط الصبيب معبراً عنه بالنسبة المئوية

لنفترض أن أفضل تشفير MODCOD ممكن تحقيقه هو الأسلوب 16APSK 77/90. ولنفترض كذلك أن معدل تشكيل القناة هو 34 ميغابود في الثانية. فالجمع بين هاذين الافتراضين يؤدي إلى معدل بتات يبلغ 116,36 Mbit/s. ولنفترض أيضاً أن التوصيل يستخدم رزماً من 188 بايتة وأن كل بايتة تمثل أثنوناً.

ويرد فيما يلي حساب الصبيب الأقصى المتيسر ( $MAT_{put}$ ) والصبيب المقدم ( $DT_{put}$ ) وخسارة الصبيب ( $LT_{put}$ ) والنسبة المئوية لانحطاط الصبيب ( $\%DT_{put}$ ):

$$(9) \quad MAT_{put} = \text{Maximum Channel Rate (bit/s)} \times \text{Time (s)}$$

$$(10) \quad DT_{put} = \Sigma \text{ Channel Rate (C/N)}_i \text{ (bit/s)} \times \text{Time}_i \text{ (s)}$$

$$(11) \quad LT_{put} = MAT_{put} - DT_{put}$$

$$(12) \quad \%DT_{put} = (LT_{put}/MAT_{put}) \times 100$$

بالنسبة إلى القيم المفترضة:

$MAT_{put} = 116.36 \text{ Mbit/s} \times 31557600 \text{ s/year} = 3.67 \times 10^{15} \text{ bit or } 2.44 \times 10^{12} \text{ packets per year}$  (عدد الرزم في السنة)

باستخدام البيانات المقدمة في الجدول 5 وبافتراض أن معدل القناة يتغير بنفس طريقة الكفاءة الطيفية، فإن قيمة  $LT_{put}$  هي  $1,14 \times 10^{11}$  رزمة وقيمة  $\%DT_{put}$  هي 4,678%.

### الجدول 5

**النسبة المئوية لانحطاط الصبيب من أجل 34 ميغابود في الثانية مع أسلوب 16APSK 77/90  
ورزم من 188 أثنوناً وصبيب أقصى متيسر =  $2,44 \times 10^{12}$  رزمة في السنة**

خسارة الصبيب	$\%DT_{put}, \varphi(T\%)$	$\Delta T\%$	$\eta(\gamma(T\%))$	$C/N, \gamma(T\%)$ (dB)	إجمالي التوهين	النسبة المئوية من الوقت
2379113244,94	0,975 = 1 - (0,141/5,653)	0,1	0,141	4,69-	29,413	0,4
2268593048,04	0,930	0,1	0,397	1,550-	26,277	0,5
2129821586,02	0,873	0,1	0,719	0,885	23,842	0,6
2003692375,24	0,821	0,1	1,011	2,834	21,893	0,7
1892136410,30	0,775	0,1	1,269	4,443	20,285	0,8
1792605325,58	0,735	0,1	1,500	5,803	18,925	0,9
8515408574,43	0,698	0,51	1,707	6,974	17,754	1
7042604485,82	0,577	0,5	2,390	10,540	14,187	1,5
6061899097,19	0,497	0,5	2,844	12,718	12,009	2
5411456009,74	0,444	0,5	3,145	14,093	10,634	2,5
4914264989,65	0,403	0,5	3,376	15,111	9,617	3
4462867228,40	0,366	0,5	3,585	16,011	8,716	3,5
4087795603,11	0,335	0,5	3,759	16,744	7,983	4
3769153208,08	0,309	0,5	3,906	17,357	7,371	4,5

خسارة الصبيب	$\%DT_{put, \varphi}(T\%)$	$\Delta T\%$	$\eta(\gamma(T\%))$	$C/N, \gamma(T\%)$ (dB)	إجمالي التوهين	النسبة المئوية من الوقت
4192406755,67	0,286	0,6	4,034	17,879	6,849	5
6277955694,24	0,257	1	4,198	18,54	6,186	5,6
7780079269,90	0,228	1,4	4,365	19,20	5,524	6,6
9650151891,10	0,198	2	4,535	19,87	4,861	8
8979487209,87	0,167	2,2	4,707	20,529	4,199	10
7269900943,64	0,130	2,3	4,920	21,34	3,392	12,2
5558025750,48	0,091	2,5	5,137	22,14	2,585	14,5
3806209512,79	0,052	3	5,359	22,95	1,778	17
2974051094,53	0,012	10	5,584	23,756	0,972	20
615903898,01	0,003	10	5,638	23,950	0,778	30
308034447,18	0,001	10	5,645	23,975	0,753	40
0,00	0,000	50	5,653	24,000	0,727	50
0,00	0,000	0	5,653	24	0,727	100
114143617653,95						
4,678		$\varphi_{total}$				