التوصيـــة ITU-R S.1779

خصائص أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل إشارات تمديد للنطاق العريض

(المسألة ITU-R 270/4)

(2007)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية أمثلة لطرائق استعمال إشارات تمديد للنطاق العريض في أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية (FSS). وتعرض الملحقات الثلاثة بهذه التوصية لمحة عامة عن التقنيات وأساليب التنفيذ في أنظمة الإرسال والتي من شأنها أن تساعد مشغلي الشبكات ومستعمليها.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) إمكانية استعمال تقنيات جديدة للإرسال مع إشارات تمديد للنطاق العريض في الوصلات الصاعدة و/أو الوصلات الهابطة للخدمة الثابتة الساتلية؛

ب) أن أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل هذه التقنيات قد تستخدم في تطبيقات وخدمات جديدة؛

ج) أن خصائص تطبيقات أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية التي تستخدم إشارات التمديد للنطاق العريض تختلف عن خصائص الأنظمة الأخرى في هذه الخدمة؛

د) أن خصائص أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل إشارات التمديد للنطاق العريض مختلفة عن خصائص أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية المستخدمة حالياً؛

هـ) أن من الضروري تحديد أثر التداخل الذي تسببه إرسالات نظام خدمة ثابتة ساتلية يستعمل إشارات تمديد للنطاق العريض؛

و) أن من المفيد لمشغلي الشبكات والمستعملين الحصول على مصدر معلومات عن خصائص أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية التي تستعمل إشارات تمديد للنطاق العريض،

توصـــي

1 باستعمال نماذج النظام وخصائصه التقنية الواردة في الملحقات من 1 إلى 3 كأمثلة لطرائق تنفيذ أنظمة الإرسال التي تستعمل إشارات التمديد للنطاق العريض في أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية.

الملاحظـــة 1 – تتناول الملحقات من 1 إلى 3 المواضيع التالية على التوالي:

الملحق 1 – إرسال معلومات إضافية تنقلها إشارات النفاذ المتعدد بتقسيم التردد (FDMA) للأنظمة التقليدية للخدمة الثابتة الساتلية.

الملحق 2 – تحسين القدرة الفعلية للقنوات في أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية بإضافة عدد من الحزم النقطية الضيقة.

الملحق 3 – تنقيص مستوى كثافة القدرة e.i.r.p. خارج محور التسديد من أجل الوفاء بالقيم التي تنص عليها التوصيات ITU-R ذات الصلة.

الملحق 1

نظام ساتلي بإشارات تمديد للنطاق العريض (تقنية التتابع المباشر (DS))

1 مقدمة

يقدم هذا الملحق وصفاً لتقنيات الإرسال التي تستعمل إشارات التمديد للنطاق العريض والتي تسمى أنظمة ساتلية عريضة النطاق، ويمكن استعمالها لإرسال معلومات إضافية دون تغيير خطة التردد التشغيلية للنظام FSS القائم.

ويتعلق أحد تطبيقات النظام بإرسال اتصالات الطوارئ مثل المعلومات عن الزلازل وإنذارات بأمواج التسونامي وغيرها. ويوضح الشكل 1 هذا النوع من التطبيقات. ففي إرسال إشارات الطوارئ يتعين على مطاريف المستعملين أن تكون صغيرة الحجم ومعقولة الثمن بحيث يكون بمقدور معظم السكان تركيب هذه المستقبلات واستعمالها حينما يشاءون. ولذلك، تعتبر المطاريف ذات الهوائيات القصيرة (منخفضة الكسب) مناسبة، مما يسهّل عمليات التركيب والصيانة. ويكون كسب الهوائيات في الأنظمة التقليدية للخدمة FDMA FSS أعلى عادة، ويجب توجيهها باتجاه الساتل وذلك بسبب اتجاهية الهوائي. كما أن توجه الهوائي يتغير بسهولة بالتغيرات الطارئة مثل الزلازل أو الأعاصير الاستوائية.

وخلافاً للمزايا المذكورة أعلاه، فإن مطاريف المستعملين ذات الهوائيات منخفضة الكسب تتأثر بالتداخل الناجم عن السواتل المجاورة. ويتوقع أن يُخفف استعمال إشارات التمديد من الانحطاط الناجم عن التداخل بين الأنظمة وذلك بفضل كسبها الممدد. وهذا هو السبب الرئيسي لاستعمال إشارة التمديد في هذا النوع من التطبيقات.

ومن أجل استخدام هذه التقنية، جرى تقييم التطبيقين التاليين:

- نظام ساتلي بإشارات تمديد للنطاق العريض مضافة إلى الإشارة العادية للخدمة FDMA FSS.
- نظام ساتلي بعروض نطاق مكرسة لإشارات النفاذ FDMA وإشارات التمديد للنطاق العريض على حد سواء.

وتعرض الفقرة التالية تحليلاً لموازنة الوصلة في هذا التطبيق يستعمل معلمات مختلفة لأنظمة الخدمة الساتلية الراهنة ونتائج التقييم المتعلقة بمعدل المعطيات. ويلاحظ أن التقنية DS هي التقنية المستخدمة في هذا التحليل.

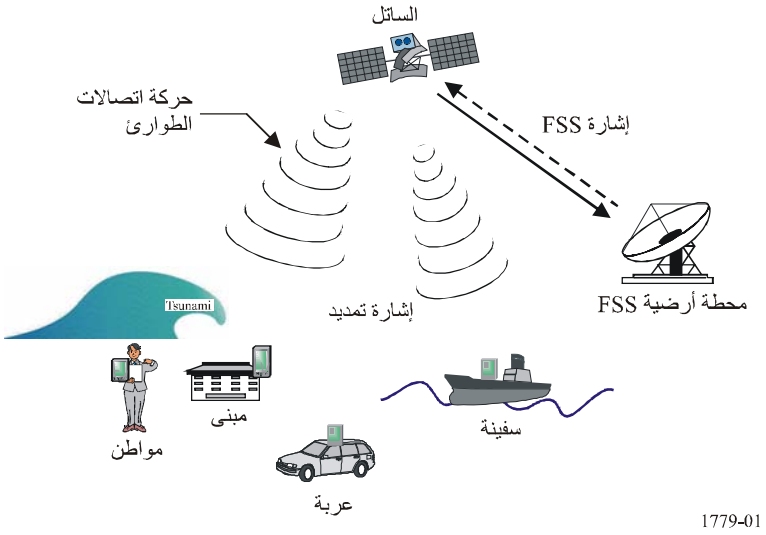
2 التطبيق 1 – نظام ساتلي بإشارات تمديد للنطاق العريض مضافة إلى إشارات FSS FDMA تقليدية

1.2 نماذج النظام

يبين الشكل 2 المخطط العام للنظام. وتستخدم الدراسة التمهيدية للنظام الساتلي عريض النطاق النموذجين 1 و2، ويرد ملخص النتائج في الجدول 1. ويستخدم النموذج 1 في نظام ساتلي جديد يضم مرسلاً مستجيباً من النمط المجدِّد، ويستخدم النموذج 2 في النظام الساتلي الراهن الذي يضم مرسلاً مستجيباً من النوع غير المجدِّد. وتشتمل الدراسة على السيناريوهات التالية أيضاً.

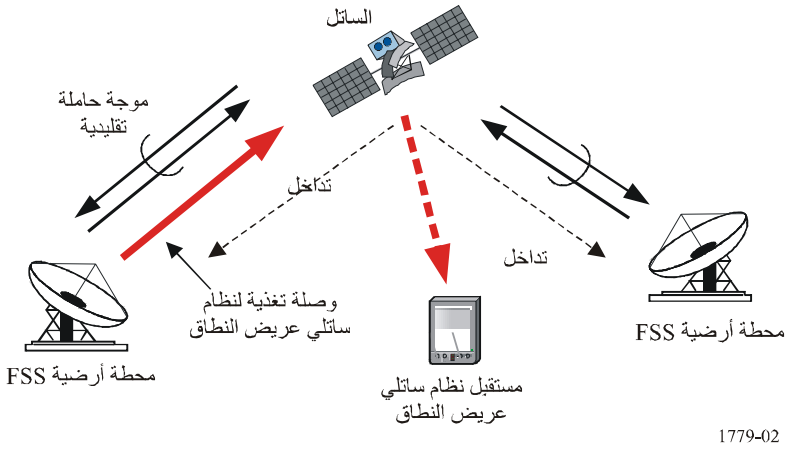
الشـــكل 1

استخدام إشارات تمديد للنطاق العريض في إرسال اتصالات الطوارئ



الشـــكل 2

نموذج الأنظمة الساتلية التي تستعمل إشارات تمديد للنطاق العريض



الجـــدول 1

نماذج الوصلات المفترضة في نظام ساتلي عريض النطاق

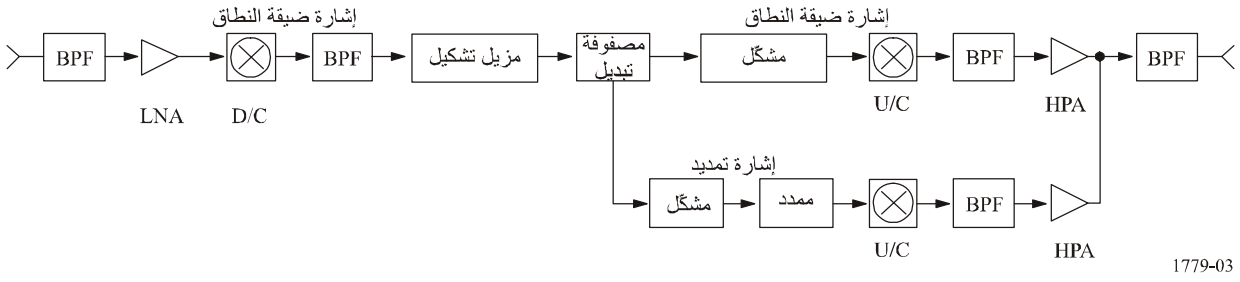
	النموذج 1	النموذج 2
نمط المرسل المستجيب	مجدِّد	غير مجدِّد
عرض النطاق (وصلة صاعدة/وصلة هابطة)	MHz 36/240	MHz 36/36
نظام الإرسال (وصلة صاعدة/وصلة هابطة)	FDMA/ FDMA وإشارة تمديد	FDMA وإشارة تمديد/ FDMA وإشارة تمديد

1.1.2 تضاف إشارات التمديد للنطاق العريض إلى الطيف الحالي الموزع للخدمة FSS في إطار توزيعات هذه الخدمة. ويكون عرض نطاق إشارات التمديد للنطاق العريض مماثلاً لعرض نطاق المرسل المستجيب للخدمة FSS والذي تتوزع ضمنه عدة موجات حاملة FDMA. ونتيجة لذلك ستستعمل الإشارات الممددة نفس تردد عدة إشارات FDMA مجاورة في نفس شبكات الخدمة FSS، مسببة بذلك تداخلاً في النظام.

2.1.2 يستعمل النموذج 1 إرسالاً تقليدياً ضيق النطاق في الوصلة الصاعدة. وفيما يتعلق بالوصلة الهابطة، ترسل إشارات التمديد للنطاق العريض في مرسل مستجيب بعرض نطاق واسع جداً مصمَّم للأنظمة الساتلية عريضة النطاق، بينما ترسل إشارات النطاق الضيق عبر مرسلات مستجيبات (مكررات) تقليدية ضيقة النطاق. ويبين الشكل 3 مخططاً لجزء من الحمولة الساتلية في النموذج 1 يشرح كيفية معالجة الإشارات في الوصلة الصاعدة.

الشـــكل 3

مخطط مكرر ساتلي حسب النموذج 1



3.1.2 فيما يتعلق بالوصلة الصاعدة، في النموذج 2، تضاف إشارات تمديد النطاق العريض إلى طيف النفاذ FDMA القائم؛ وترسل الإشارات FDMA وإشارات تمديد النطاق العريض عبر مكرر تقليدي. وفيما يتعلق بالوصلة الهابطة، يعالج نوعا الإشارة في مكرر تقليدي كما هو الحال في الوصلة الصاعدة تماماً.

4.1.2 ويتألف القطاع الفضائي من ساتل واحد. وتعالج إشارات النطاق العريض والنطاق الضيق في محطة فضائية واحدة تضم هوائياً واحداً وترسل ضمن حزمة ساتلية واحدة. ومن ناحية أخرى، يفترض هنا استعمال نمط جديد من المطاريف لا يستقبل إلا إشارات التمديد الآتية من الساتل. ويمكن فصل المعلمات التقنية لمستقبل النظام الساتلي عريض النطاق عن معلمات الأنظمة FSS القائمة.

5.1.2 وتيسيراً للعمليات الحسابية، وفيما يتعلق بالوصلة الصاعدة، ترسل كل من الإشارات FSS FDMA وإشارات التمديد للنطاق العريض من نفس المحطة الأرضية، ويوضح نوعا المستقبلات في نفس النقطة على سطح الأرض، مما يلغي الحاجة إلى مراعاة مخططات هوائيات الساتل.

2.2 تحليل موازنة الوصلة وتقدير الأداء

يتم تقدير معدل المعطيات الناتج استناداً إلى موازنات الوصلة في النطاقات GHz 14/12. وبينما يستعمل مكرر ونظام إرسال تقليديان في الوصلة الصاعدة، ينتج معدل معطيات النظام الساتلي عريض النطاق استناداً إلى معلمات الوصلة الهابطة. ويجري الحساب باتباع المراحل التالية:

المرحلة 1: استناداً إلى المعلمات النمطية لأنظمة الخدمة الثابتة الساتلية وقيمة النسبة *C/I* المطلوبة للموجات الحاملة FDMA، تحسب القدرة e.i.r.p. في الوصلة الهابطة في النظام الساتلي عريض النطاق. ويتيح ذلك تحديد النسبة *C/T* المستقبلة في مستقبل الإشارات عريضة النطاق.

المرحلة 2: استناداً إلى النسبة *C/T* المستقبلة المحددة، ينتج أفضل معدل معطيات كخطوة أولى لتحليل معدل المعطيات مع افتراض عدم وجود موجات حاملة FDMA.

المرحلة 3: كما في المرحلة 2 تماماً، ينتج معدل المعطيات مع مراعاة التداخل الناجم عن الموجات الحاملة FDMA في النظام الساتلي عريض النطاق.

وتعرض الفقرات التالية الإجراءات الواردة أعلاه مع مزيد من التفاصيل.

1.2.2 المرحلة 1

ترسل الموجات الحاملة التقليدية FDMA، كما يبين الشكل 4، إلى بعض أجزاء عروض نطاق المكرِّر بينما تضاف إشارات النظام الساتلي عريض النطاق إلى كامل عرض نطاق المكرر.

تتحدد أولاً قيمة النسبة *C/I* المطلوبة للموجات الحاملة FDMA، حيث *C* هي القدرة الناتجة عن إحدى الموجات الحاملة FDMA و*I* هي القدرة الناتجة عن النظام الساتلي عريض النطاق. وتستخدم هذه الدراسة نسبة *C/I* قدرها 20 dB.

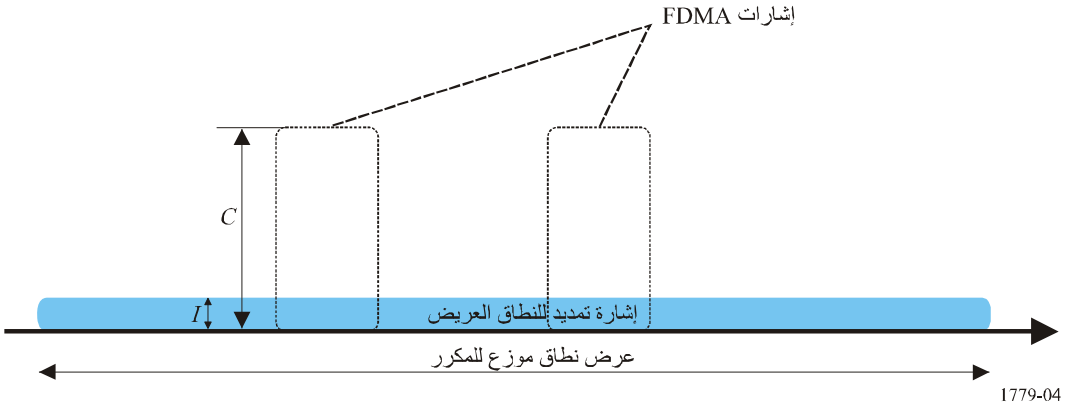
وبعد الحصول على القيمة *C/I* المطلوبة تستنتج قيمة القدرة e.i.r.p. المقبولة للمحطة الفضائية في النظام الساتلي عريض النطاق مع مراعاة عرض النطاق المشغول. ثم تحسب قيمة النسبة *C/T* الواصلة إلى النظام، RX *C/T*، في المعادلة التالية:

$$\text{Rx } C/T = e.i.r.p. - L_p - M_{rain} + G/T \quad \text{dB} \tag{1}$$

حيث L_p وM_{rain} و*G/T* تمثل خسارة المسير في الفضاء الحر بين الساتل والمستقبل على سطح الأرض، وهامش الحماية من المطر، وهوائي الاستقبال *G/T*، على التوالي.

الشـــكل 4

إضافة إشارات ساتلية عريضة النطاق إلى الموجات الحاملة FDMA في الوصلة الهابطة



2.2.2 المرحلة 2

عندما تتوفر القيمة RX *C/T*، يمكن حساب معدل المعلومات بالمعادلة التالية:

$$R = \text{Rx } C/T - (E_b/N_0)_{req} + 228{,}6 \quad \text{dB} \tag{2}$$

حيث $(E_b/N_0)_{req}$ هي النسبة E_b/N_0 المطلوبة والقيمة "228,6" هي ثابت بولتزمان.

ومعدل المعلومات المبين أعلاه هو أفضل معدل معطيات يقدر في ظرف يفترض عدم وجود موجات حاملة FDMA ضيقة النطاق.

3.2.2 المرحلة 3

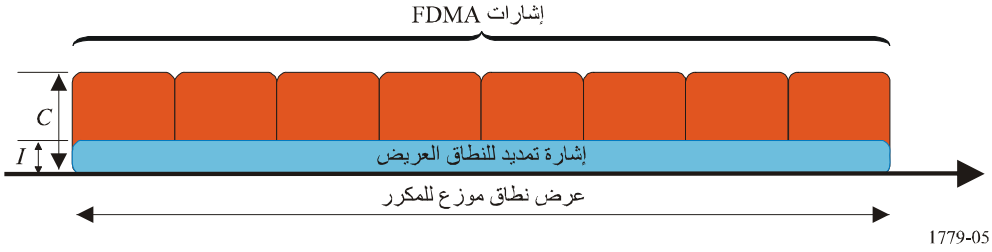
ويحسب أخيراً معدل المعطيات الممكن للأنظمة الساتلية عريضة النطاق في وجود عدة موجات حاملة FDMA ضيقة النطاق داخل عرض نطاق المكرر. وفي هذه الحالة تعتبر النسبة *C/T* في مستقبل الوصلة الهابطة في الموجات الحاملة FDMA تداخلاً في النظام الساتلي عريض النطاق. وللحصول على النسبة *C/T* العامة في حالة النموذج 1 تجمع القيمة *C/T* في مستقبل الوصلة الهابطة للنظام الساتلي عريض النطاق مع التراجع في القيمة *C/T* في المستقبِل عريض النطاق للوصلة الهابطة والناتج عن التداخل الذي تسببه الموجات الحاملة FDMA. كما يمكن أيضاً تطبيق هذا الإجراء في حالة النموذج 2.

ويتم استعمال قنوات الموجات الحاملة FDMA لأغراض هذه الدراسة على النحو المبين في الشكل 5 بنسبة 100% أي استعمال كامل الطيف في عرض نطاق المكرر من قبل عدة موجات حاملة FDMA ضيقة النطاق. وأما الاستعمال بنسبة 50% فيعادل نصف عرض النطاق الذي تشغله الموجات الحاملة FDMA. وعندما يتم استعمال القناة بنسبة 100% مثلاً، فإن النظام الساتلي عريض النطاق يتطلب كسب تمديد أعلى من كسب المرحلة 2 بمقدار 20 dB. ويلاحظ أن نطاقات الحراسة لم تؤخذ بالحسبان هنا تيسيراً للحساب.

وطريقة حساب معدل المعطيات هي نفسها الواردة في المرحلة 2.

الشـــكل 5

استعمال قناة بنسبة 100% في الموجات الحاملة FDMA في الوصلة الهابطة



3.2 نتائج دراسة موازنة الوصلة

يشتمل الجدولان 2 و3 على مجموعة المعلمات النمطية للنظام FSS وقيم القدرة e.i.r.p. في النظام الساتلي عريض النطاق. وفي حال افتراض أن القيمة *C/I* تساوي 20 dB، ستكون كثافة القدرة e.i.r.p. لإشارات التمديد 14,4 dB(W/MHz)، كما يرد في الجدول 3.

الجـــدول 2

المعلمات النمطية لنظام الخدمة الثابتة الساتلية (FSS)

المعلمة	وصلة صاعدة	وصلة هابطة	ملاحظات
عرض نطاق الموجة الحاملة	MHz 72,0	MHz 36,0	
e.i.r.p. per carrier	dBW 70,0	dBW 50,0	
e.i.r.p. density	dB(W/MHz) 51,4	dB(W/MHz) 34,4	

الجـــدول 3

قيم القدرة .e.i.r.p في النظام الساتلي عريض النطاق

النظام FDMA	وصلة صاعدة	وصلة هابطة	ملاحظات
كثافة القدرة .e.i.r.p للنظام FDMA	dB(W/MHz) 51,4	dB(W/MHz) 34,4	
e.i.r.p. per carrier	dB 20,0	dB 20,0	
e.i.r.p. density	dB(W/MHz) 31,4	dB(W/MHz) 14,4	

ولإجراء دراسة تفصيلية لموازنة وصلة ما، يؤخذ مثال النموذجين 1 و2 مع الملخص الوارد في الجداول من 4 إلى 7.

وكما هو مبين في الجدول 2، ينتج عن عرض نطاق يبلغ MHz 72,0 وقيمة .e.i.r.p قدرها dBW 70,0 قدرة .e.i.r.p قدرها dBW 67,0 في عرض نطاق MHz 36 حسب النموذج 1. أما في النموذج 2، ونظراً لأن سوية إشارة التمديد أقل بمقدار dB 20 من سوية الإشارة FDMA، تنتج قيمة .e.i.r.p قدرها dBw 47,0.

ويتم حساب النسبة *C/T* في مستقبل الوصلة الصاعدة باستعمال المعادلة (1)، وتنتج استناداً إلى ذلك القيمتان –134,5 و–dB(W/K) 154,5 في النموذجين 1 و2، على التوالي.

الجـــدول 4

موازنة الوصلة – 1 (الوصلة الصاعدة)

نظام ساتلي عريض النطاق	النموذج 1 (مجدِّد)	النموذج 2 (غير مجدِّد)	ملاحظات
عرض النطاق	MHz 36	MHz 36	
القدرة .e.i.r.p في محطة أرضية	dBW 67,0	dBW 47,0	استناداً إلى الجدولين 2 و3
الخسارة في المسير	dB 206,5	dB 206,5	تردد التشغيل: GHz 14
توهين ناجم عن المطر	dB 0	dB 0	
النسبة *G/T* في هوائي الاستقبال	dB/K 5,0	dB/K 5,0	
النسبة *C/T* في مستقبل الوصلة الصاعدة	dB(W/K) 134,5–	dB(W/K) 154,5–	

ومع كثافة قدرة .e.i.r.p لإشارات التمديد قدرها dB(W/MHz) 14,4 كما يبين الجدول 3 وعرض نطاق وصلة هابطة قدرها MHz 240 كما في النموذج 1، ينتج أن قيمة القدرة .e.i.r.p في الساتل هي dBW 38,2. وبطريقة مماثلة ينتج أن قيمة القدرة .e.i.r.p في ساتل النموذج 2 هي dBw 30,0. وباستعمال المعادلة (1) ينتج أن النسبة *C/T* في مستقبل الوصلة الهابطة في النموذجين 1 و2 هي –171,9 و–dB(W/K) 180,2، على التوالي.

الجـــدول 5

موازنة الوصلة – 2 (الوصلة الهابطة)

نظام ساتلي عريض النطاق	النموذج 1 (مجدِّد)	النموذج 2 (غير مجدِّد)	ملاحظات
عرض النطاق	MHz 240	MHz 36	
القدرة e.i.r.p. في محطة أرضية	dBW 38,2	dBW 30,0	استناداً إلى الجدول 3
الخسارة في المسير	dB 205,2	dB 205,2	تردد التشغيل: GHz 12
توهين ناجم عن المطر	dB 0	dB 0	
النسبة G/T في هوائي الاستقبال	dB/K 5,0–	dB/K 5,0–	هوائي مكافئي قطره Cm 10 (dBi 19,8)، T_{sys} = K 300
النسبة C/T في مستقبل الوصلة الهابطة	dB(W/K) 171,9–	dB(W/K) 180,2–	

وتتأثر مطاريف المستعمل منخفضة الكسب بالتداخل الصادر عن السواتل المجاورة، مما يؤدي إلى انحطاط النسبة C/T. غير أن هذه الآثار لا تؤخذ في الحسبان عند حساب أفضل قيمة لموازنة الوصلة في هذه الدراسة. وهذا موضوع سترد دراسته في الفقرة 2.4.2.

وبالتالي تكون النسبة C/T الكلية هي نفس النسبة C/T في مستقبل الوصلة الهابطة، أي –171,9 و–180,2 dB(W/K) للنموذجين 1 و2، على التوالي.

الجـــدول 6

موازنة الوصلة – 3 (الكلية)

نظام ساتلي عريض النطاق	النموذج 1	النموذج 2	ملاحظات
النسبة C/T *الكلية داخل النظام*	dB(W/K) 171,9–	dB(W/K) 180,2–	استناداً إلى الجدولين 4 و5
انحطاط النسبة C/T الناجم عن تداخل السواتل المتجاورة	dB 0	dB 0	
النسبة C/T الكلية	dB(W/K) 171,9–	dB(W/K) 180,2–	

وأخيراً، يمكن تقدير معدل المعطيات باستعمال المعادلة (2) كما يبين الجدول 7.

الجـــدول 7

معدل المعطيات المتيسر في النظام الساتلي عريض النطاق

نظام ساتلي عريض النطاق	النموذج 1	النموذج 2	ملاحظات
النسبة C/T الكلية	dB(W/K) 171,9–	dB(W/K) 180,2–	
النسبة E_b/N_0 المطلوبة	dB 4,0	dB 4,0	
ثابت بولتزمان	dB(W/(K · Hz)) 228,6–	dB(W/(K · Hz)) 228,6–	
تقدير معدل المعطيات	(bit/s)dB 52,7 kbit/s 184,8	dB(bit/s) 44,4 kbit/s 27,7	

وفيما يتعلق بتشغيل موجات حاملة لخدمة FSS تكون القيمة المذكورة أعلاه للنسبة I_0/N_0 تساوي –1,3 dB وذلك بافتراض هوائي طوله m 1,2 (dBi 41,3) ودرجة حرارة نظام K 120 في المحطة الأرضية.

4.2 ملخص معدل المعطيات المتيسر

1.4.2 معدل المعطيات مع قيم مختلفة للنسبة *C/I*

تنتج معدلات المعطيات فيما يتعلق بالنموذج 1 بقيم مختلفة للنسبة *C/I* في الوصلة الهابطة كما يبين الجدول 8 والشكل 6، حيث تمثل *C* و*I* القدرة الناتجة عن الموجات الحاملة FDMA وعن النظام الساتلي عريض النطاق، على التوالي. وتضبط قيمتا كسب الهوائي وانحطاط النسبة *C/T* الناجم عن التداخل الذي تسببه السواتل المجاورة بالقيمتين 19,8 dBi و0 dB (أفضل حالة)، على التوالي. وينتج عن ذلك، مع العلم بأن معدل التحميل يبلغ 100% والقيمة *C/I* تبلغ 20 dB، معدل معطيات قابل للتحقيق قدره 154,9 kbit/s، مثلاً.

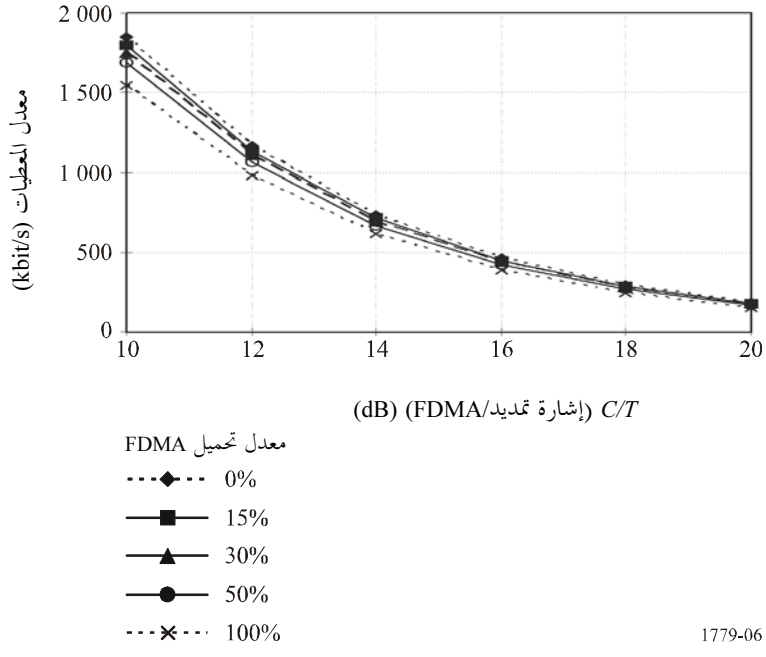
الجـــدول 8

معدل المعطيات (kbit/s) بقيم مختلفة للنسبة *C/I* في النموذج 1

معدل تحميل الموجات الحاملة FDMA (%)					
100	50	30	15	0	*C/I* (dB)
1 548,5	1 685,1	1 746,7	1 795,9	1 848,0	10
977,0	1 063,2	1 102,1	1 133,2	1 166,0	12
616,5	670,8	695,4	715,0	735,7	14
389,0	423,3	438,7	451,1	464,2	16
245,4	267,1	276,8	284,6	292,9	18
154,9	168,5	174,7	179,6	184,8	20

الشـــكل 6

معدل المعطيات مع قيم *C/I* مختلفة في النموذج 1



2.4.2 معدل المعطيات مع قيم مختلفة لانحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة

قد تتأثر مطاريف المستعمل منخفضة الكسب من جراء التداخل الناجم عن السواتل المجاورة؛ ويظهر ذلك على شكل انحطاط النسبة *C/I*. ومن أجل تقدير تأثير التداخل هذا تستخدم المعلمات التالية:

- فتحة حزمة الهوائي (HPBW: فتحة حزمة بنصف القدرة) قدرها 2º0، وهوائي مكافئي قطره 10 cm (19,8 dBi)؛
- سواتل متجاورة مع تباعد قدره 2º. وتضم فتحة حزمة قدرها 20º عشرة سواتل؛
- سوية استقبال كل ساتل مجاور هي نفس سوية الساتل المطلوب وذلك في حالة الفتحة العريضة؛
- نصف السواتل المجاورة العشرة (أي خمسة سواتل) تسبب تداخلاً في الإشارة المطلوبة. وبالتالي، يساوي انحطاط النسبة *C/T* الذي يسببه التداخل الناجم عن خمسة سواتل مجاورة 7 dB.

ويبين الجدول 9 والشكل 7 معدلات المعطيات مع سويات مختلفة لانحطاط النسبة *C/T* الذي يسببه التداخل الناجم عن السواتل المجاورة. وقيمة النسبة *C/T* وقيمة معدل التحميل في السواتل المجاورة في هذا الحساب مضبوطتان على 20 dB و100%، على التوالي. ويجدر بالذكر أن قيم انحطاط النسبة *C/T* التي تظهر على المحور الأفقي يمكن تحويلها إلى عدد سواتل مجاورة.

الجـــدول 9

معدل المعطيات (kbit/s) لسويات انحطاط النسبة *C/I* بسبب التداخل للنموذج 1

$(C/T)_{deg}$ (N_s) / R_{load}	0 (0)	3 (2)	7 (5)	10 (10)	14 (25)	20 (100)
%0	184,8	133,3	93,8	63,0	31,5	9,1
%50	168,5	121,6	85,6	57,4	28,8	8,3
%100	154,9	111,7	78,6	52,8	26,4	7,6

$(C/T)_{deg}$: سوية انحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة (dB)

N_s: عدد السواتل المجاورة

R_{load}: معدل التحميل في الساتل المطلوب.

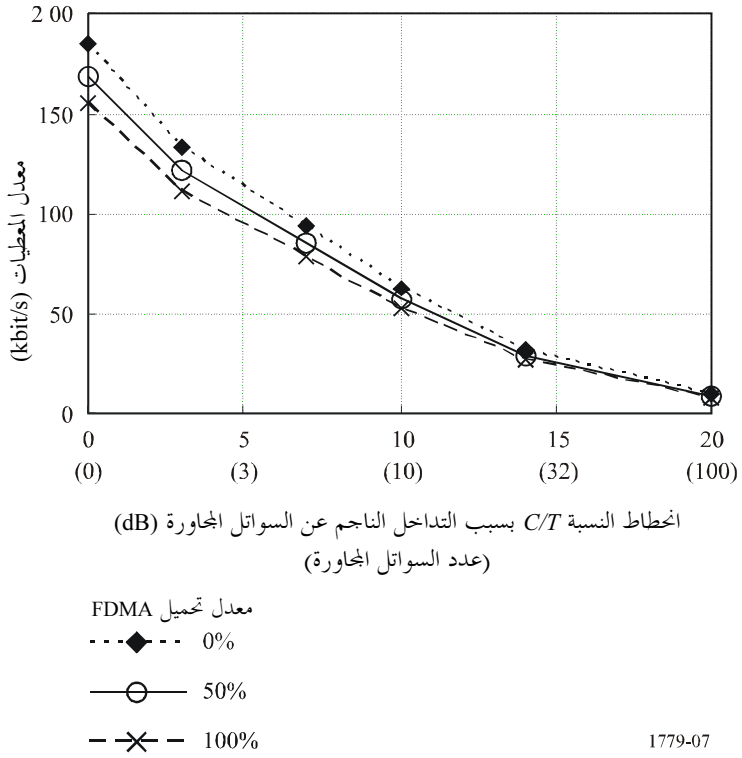
5.2 تأثير إضافة إشارات تمديد النطاق العريض إلى موجات حاملة FDMA

قد تتأثر الموجات الحاملة FDMA بإشارات التمديد العاملة بنفس التردد. ويجري تقييم الآثار للوصلة الهابطة في التحليل التالي لموازنة الوصلة.

وترد المعلمات النمطية للنظام FSS في الفقرة 3.2، وهي تحدد النسبة *C/T* لاستقبال الوصلة الهابطة بالقيمة –140,1 dB(W/K)، كما يبين الجدول 10. ويلاحظ أن هذا الجدول لا يراعي أثر إشارات التمديد على الموجات الحاملة FDMA، وهو أمر سيناقش فيما بعد.

الشـــكل 7

معدل المعطيات لسويات انحطاط النسبة *C/T* الناجم عن التداخل للنموذج 1



الجـــدول 10

موازنة وصلة النظام FDMA (الوصلة الهابطة)

النظام FDMA	الوصلة الهابطة	ملاحظات
عرض النطاق	MHz 36	
القدرة e.i.r.p. في الساتل	dBW 50,0	استناداً إلى الجدول 2
الخسارة في المسير	dB 205,2	تردد التشغيل: GHz 12
التوهين الناجم عن المطر	dB 0	
انحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن إشارات التمديد المضافة	dB 0	
النسبة *G/T* لهوائي الاستقبال	dB/K 15,1	
النسبة *C/T* لمستقبل الوصلة الهابطة	dB(W/K) 140,1−	

وبافتراض أن القيمة الدنيا للنسبة *C/T* لموجة حاملة بمعدل kbit/s 64 تساوي dB(W/K) 175,9− وهامش حماية النظام يساوي db 10، تكون القيمة *C/T* المطلوبة dB(W/K) 165,9−.

الجـــدول 11

النسبة *C/T* المطلوبة في نظام FDMA

النظام FDMA		ملاحظات
أدنى *C/T* (kbit/s 64)	dB(W/K) 175,9−	$BER = 1 \times 10^{-6}$، dB 4,6 = E_b/N_0
هامش النظام	dB 10	
النسبة *C/T* المطلوبة	dB(W/K) 165,9−	

وأخيراً، ينتج عدد القنوات الذي يمكن تحقيقه كما هو مبين في الجدول 12.

الجـــدول 12

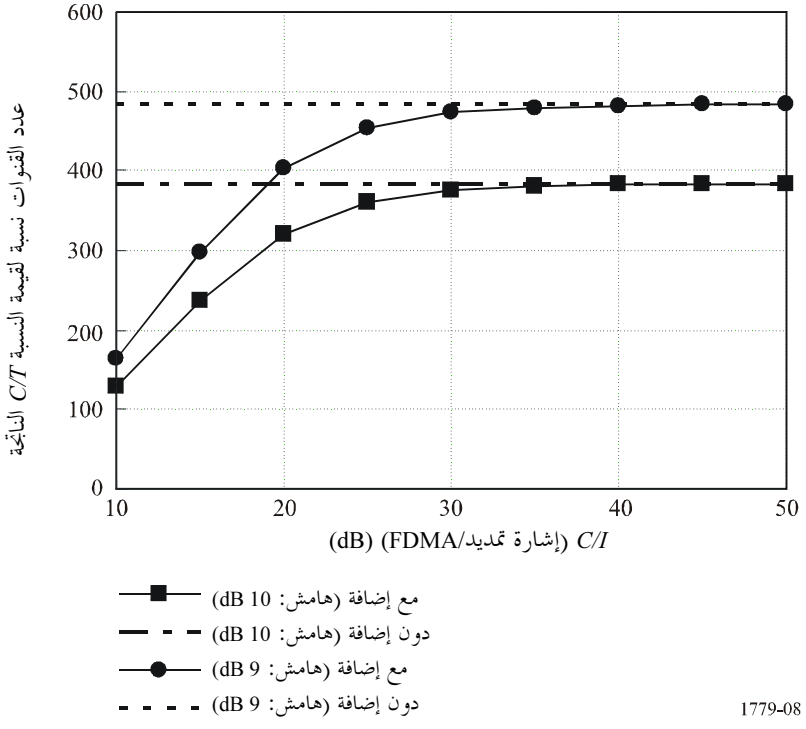
عدد القنوات الممكن تحقيقه

النظام FDMA		ملاحظات
الهامش	dB 25,8	استناداً إلى الجدولين 10 و11
عدد القنوات	384	

سيتراجع عدد القنوات في بيئة الإضافة نسبة للقيمة الواردة أعلاه. ويتم تقييم تأثير إضافة إشارات التمديد إلى الموجات الحاملة FDMA نسبة إلى عدة قيم للنسبة *C/I*، حيث *C* و*I* هما القدرة الناتجة لإحدى الموجات الحاملة FDMA وللنظام الساتلي عريض النطاق على التوالي. ويبين الشكل 8 عدد القنوات FDMA مع إشارات التمديد المضافة ودون هذه الإشارات.

الشـــكل 8

عدد القنوات نسبة إلى قيم مختلفة *C/I* مع إضافة إشارات التمديد إلى الموجات الحاملة FDMA



وتُظهر النتائج أن عدد القنوات FDMA تتناقص كلما ازداد التداخل الناجم عن إشارات التمديد المضافة أي عندما تتناقص قيمة النسبة *C/I*. وفي مثل هذه الحالات من الممكن زيادة عدد القنوات المتيسرة من خلال خفض هامش وصلة النظام. ويمكن استناداً على الظروف التشغيلية تحديد عدد الموجات الحاملة FDMA نسبة إلى مقدار التداخل الناجم عن إشارات التمديد المضافة الذي ينبغي أن تتسامح به الموجة الحاملة FDMA الواحدة.

6.2 الدراسة

يرتبط معدل المعطيات الذي يمكن تحقيقه كما تبين النتائج الواردة أعلاه على معدل تحميل الموجات الحاملة FDMA ومعايير النسبة *C/I* وسويات انحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل داخل و/أو بين الأنظمة وتوزيعات التداخل في الموجات الحاملة FDMA العاملة بنفس التردد. وعلى الرغم من الحصول على معدل معطيات منخفض نسبياً إلاّ أنه كافٍ لإيصال معلومات الطوارئ منخفضة المعدل.

ونظراً لاستخدام النموذج المقترح للنظام استناداً إلى التداخل في النظام شريطة ضبط التداخل الكلي في النظام الساتلي المجاور، فإنه يمكن انتقاء قيمة النسبة *C/I* ومعدل التحميل بصورة ملائمة تبعاً للسياسة التشغيلية وتصميم النظام. وبالإمكان في حالة الكوارث الطبيعية إرسال إشارات التمديد فقط باستعمال كامل المكرر من أجل تأمين إرسال معلومات الطوارئ دون تخصيص مسبق للمكرر و/أو فواصل التردد.

وقد يزيد نظام الإضافة سوية الضوضاء أي النسبة I_0/N_0 في الموجات الحاملة FDMA يتناقص بازدياد التداخل الناجم عن إشارات التمديد المضافة استناداً إلى النتائج الواردة في الفقرة 5.2. أي بتناقص قيمة النسبة *C/I*، فإن نقص عدد القنوات يمكن التعويض عنه باستعمال هوائي أصغر ومعدل معطيات يقبل إشارات التمديد للنطاق العريض. ونظراً لأن الأمر يتعلق بتداخل داخل الأنظمة (وليس بين الأنظمة) فإن هذا التداخل يشكل أحد الأهداف التي ينشد مصممو الوصلة الساتلية و/أو مشغلو السواتل في التحكم بها.

3 التطبيق 2 – نظام ساتلي مع عروض نطاق مكرسة لإشارات FDMA وإشارات التمديد للنطاق العريض على حد سواء

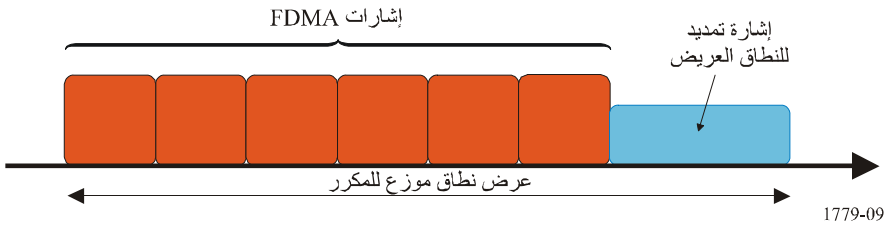
1.3 نموذج النظام

إن مفاهيم النظام ونماذج الوصلات المفترضة هي نفسها المفاهيم والنماذج التي استخدمت في التطبيق 1، أي الواردة في الشكل 2. غير أن استعمال طيف الخدمة FSS مختلف عن التطبيق 1 إلى الطيف الحالي الموزع للخدمة FSS في إطار التوزيعات لهذه الخدمة، فإن عروض نطاق الإشارات FDMA وإشارات التمديد في التطبيق 2 منفصلة؛ أي أن عروض النطاق المكرسة موزعة لإشارات التمديد. وفيما يلي السيناريوهات الخاصة بالتطبيق 2. ويظهر نموذج الوصلة المستخدمة والمسمى النموذج 3 في الجدول 13:

- ترسل إشارات التمديد للنطاق العريض في عروض نطاق مكرسة كما يبين الشكل 9. وبما أن إشارات التمديد ترسل منفصلة عن الإشارات FDMA ضمن التوزيع القائم للخدمة FSS لنفس شبكات الخدمة FSS فلا يكون هناك تداخل داخل النظام؛
- يستخدم في الوصلة الصاعدة مكرر من النمط المجدد مع عرض نطاق ضيق؛
- يوزع للوصلة الهابطة جزء معين من توزيع الخدمة FSS لأغراض إشارات التمديد؛
- يفترض أن تسهل المطاريف بهوائي شامل الاتجاهات أو شبه شامل الاتجاهات عمليات التركيب والصيانة. وتتأثر المطاريف المزودة بهذه الهوائيات بالتداخل الناجم عن السواتل المجاورة، لكن كسب التمديد يخفف من الانحطاط الذي يسببه التداخل بين الأنظمة.

الشـــكل 9

التوزيع المكرس لإشارات التمديد في الوصلة الهابطة



الجـــدول 13

نماذج وصلات في التطبيق 2

	النموذج 3	ملاحظات
نمط المكرر	مجدِّد	
عرض نطاق/قدرة e.i.r.p. (الوصلة الصاعدة)	dBW 77/MHz 36	
عرض نطاق/قدرة e.i.r.p. (الوصلة الهابطة)	dBW 52,1/MHz 3,6	أعلى قدرة e.i.r.p. مستخدمة هي dBW 62,1
نظام الإرسال (وصلة صاعدة/وصلة هابطة)	FDMA/FDMA وإشارة تمديد	

2.3 تحليل موازنة الوصلة وتقدير الأداء

يقدَّر معدل المعطيات الممكن بالاستناد إلى موازنة الوصلات في النطاقات GHz 14/12. ويجري الحساب تماماً كما في التطبيق 1 باستثناء معلمات النسبة *C/I*:

- تعطي معلمات أنظمة الخدمة FSS وعرض النطاق الموزع لإشارات التمديد النسبة *C/T* في مستقبل الإشارة عريضة النطاق في الوصلة الهابطة؛
- يتم الحصول على معدل المعطيات باستعمال النسبة *C/T* المحددة للاستقبال.

ونظراً لعدم وجود تداخل بين الإشارات FDMA وإشارات التمديد، تعتبر قيمة النسبة *C/I* التي استخدمت في التطبيق 1 لا متناهية في هذا التحليل.

3.3 نتائج تحليل موازنة الوصلة

تحسب النسبة *C/T* لمستقبل الوصلة الصاعدة باستعمال المعادلة (1)، وتكون القيمة *C/T* للاستقبال في الوصلة الصاعدة –134,5 dB(W/K)، كما يبين الجدول 14. وفي الوصلة الهابطة تعطي المعادلة (1) أيضاً النسبة *C/T* لمستقبل الوصلة الهابطة بمقدار –172,9 dB(W/K)، كما يظهر في الجدول 15.

الجـــدول 14

موازنة الوصلة – 1 (الوصلة الصاعدة)

النظام الساتلي عريض النطاق	النموذج 3	ملاحظات
عرض النطاق	MHz 36	
القدرة e.i.r.p. في المحطة الأرضية	dBW 67,0	
الخسارة في المسير	dB 206,5	تردد التشغيل: GHz 14
التوهين الناجم عن المطر	dB 0	
النسبة *G/T* في هوائي الاستقبال	dB/K 5,0	
النسبة *C/T* في مستقبل الوصلة الصاعدة	–134,5 dB(W/K)	

الجـــدول 15

موازنة الوصلة – 2 (الوصلة الهابطة)

النظام الساتلي عريض النطاق	النموذج 3	ملاحظات
عرض النطاق للموجة الحاملة الواحدة	MHz 3,6	
القدرة e.i.r.p. الناتجة عن الساتل في الموجة الحاملة الواحدة	dBW 52,1	
الخسارة في المسير	dB 205,2	تردد التشغيل: GHz 14
التوهين الناجم عن المطر	dB 0	
النسبة G/T في هوائي الاستقبال	dB/K 19,8–	هوائي الرقع (dBi 5)، K 300 = T_{sys}
النسبة C/T في مستقبل الوصلة الهابطة	dB(W/K) 172,9–	النسبة C/T الملكية داخل النظام

كما يستخدم التطبيق 2 المطاريف ذات الهوائي منخفض الكسب التي تتأثر بالتداخل الناجم عن السواتل المجاورة. غير أن هذه المرحلة تفترض الظروف المثالية وهي عدم وجود تداخل؛ وترد معدلات المعطيات بوجود التداخل في الفقرة 2.4.3.

الجـــدول 16

موازنة الوصلة – 3 (الكلية)

النظام الساتلي عريض النطاق	النموذج 3	ملاحظات
النسبة C/T الكلية داخل النظام	dB(W/K) 172,9–	استناداً إلى الجدول 15
انحطاط النسبة C/T بسبب التداخل الناجم عن الأنظمة الأخرى	dB 0	
النسبة C/T الكلية	dB(W/K) 172,9–	

أخيراً، تعطي المعادلة (2) تقدير معدل المعطيات كما يبين الجدول 17.

الجـــدول 17

معدل المعطيات في النظام الساتلي عريض النطاق

النظام الساتلي عريض النطاق	النموذج 3	ملاحظات
النسبة C/T الكلية	dB(W/K) 172,9–	
النسبة E_b/N_0 المطلوبة	dB 4,0	
ثابت بولتزمان	dB(W/(K · Hz)) 228,6–	
تقدير معدل المعطيات	dB(bit/s) 51,7 kbit/s 148,9	

4.3 ملخص دراسة معدل المعطيات المتيسر

1.4.3 معدل المعطيات في عروض نطاق مختلفة لإشارات التمديد

عروض النطاق المكرسة موزعة في التطبيق 2 على إشارات التمديد. ومن أجل تقييم كيفية تأثير عرض النطاق على معدل المعطيات تؤخذ أنماط عروض النطاق في الحسبان مع النتائج الواردة في الجدول 18 والشكل 10 والخاصة بالنموذج 3. ويجدر بالذكر أن الدراسة تفترض أن القدرة e.i.r.p. في الوصلة الهابطة تزداد بازدياد عرض نطاق هذه الوصلة. وتستخدم الدراسة

أيضاً نوعان من الهوائيات هما الهوائي شامل الاتجاه (0 dBi) وهوائي الرق (5 dBi)؛ أما انحطاط النسبة *C/T* الذي يسببه التداخل الناجم عن الأنظمة الأخرى فلا يؤخذ بالحسبان لدى تقييم الحالة الأفضل.

واستناداً إلى النتائج، يبدو أنه من الممكن الحصول على معدل معطيات يساوي عدة عشرات kbit/s على الرغم من ضيق عرض لنطاق الشديد. ومن الواضح أن عرض النطاق الضيق كاف لإرسال المعلومات منخفضة المعدل في ظروف تشغيل عادية، بينما يمكن الحصول على معدل معطيات أعلى من خلال تغيير عروض نطاق إشارات التمديد والإشارات FDMA.

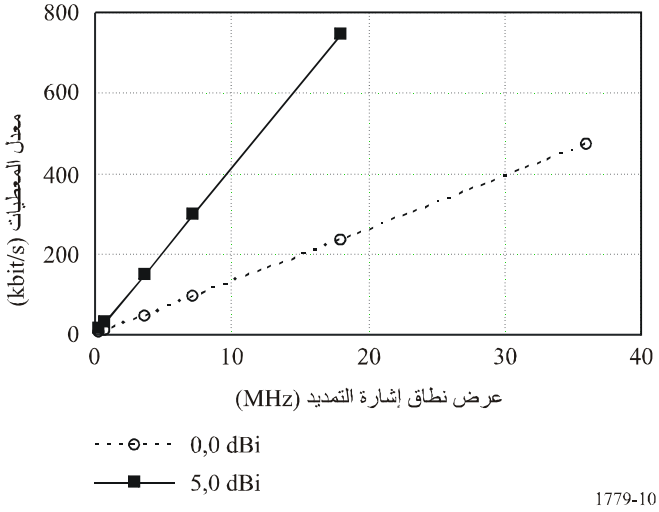
الجـــدول 18

معدل معطيات (kbit/s) في عروض نطاق مختلفة لإشارات التمديد

	عرض نطاق إشارات التمديد (MHz)					
نوع الهوائي	0,36	0,72	3,6	7,2	18	36
0,0 dBi (شامل)	4,7	9,4	47,1	94,2	235,4	470,8
5,0 dBi (رقع)	14,9	29,8	148,9	297,8	744,4	1 488,7

الشـــكل 10

معدل معطيات في عروض نطاق مختلفة لإشارات التمديد



2.4.3 معدل المعطيات في سويات انحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة

من أجل تقييم انحطاط النسبة *C/T* الذي يسببه التداخل الناجم عن السواتل المجاورة تتبع المراحل التالية تماماً كما في التطبيق 1:

المرحلة 1: يقع الجزء الأكبر من المدار المستقرة بالنسبة إلى الأرض (أي 100°) داخل الحزمة الرئيسية لهوائي شامل الاتجاهات تقريباً يبلغ كسب 5 dBi.

المرحلة 2: تتموضع السواتل المجاورة بتباعد قدره 2°. ويوجد 50 ساتلاً داخل فتحة قدرها 100°.

المرحلة 3: لا يوجد فرق في كسب هوائيات منخفضة الكسب من هذا القبيل ضمن مدى عشرات الدرجات من المحور الرئيسي. وبالتالي، تبقى سوية استقبال كل ساتل مجاور مماثلة للسوية الواردة من الساتل المطلوب.

المرحلة 4: يسبب نصف السواتل المجاورة الخمسين (25 ساتلاً) تداخلاً في الإشارة المطلوبة يسبب انحطاطاً في النسبة *C/T* قدره 14 dB.

ويعطي الجدول 19 والشكل 11 معدلات المعطيات عند سويات مختلفة لانحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة (النموذج 3). وفي هذا الحساب يتخذ عرض النطاق المكرس لإشارات التمديد ومعدل التحميل في السواتل المجاورة القيمتين MHz 3,6 و100%، على التوالي، ويُستخدم نوعان من الهوائي.

الجـــدول 19

معدل معطيات (kbit/s) لسويات انحطاط النسب *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة (النموذج 3)

20 (100)	14 (25)	10 (10)	7 (5)	3 (2)	0 (0)	$(C/T)_{deg}$ (N_s) / G_r
11,0	25,8	35,4	40,4	44,2	47,1	dBi 0,0 (شامل)
13,1	41,3	73,0	97,9	123,3	148,9	dBi 5,0 (رقع)

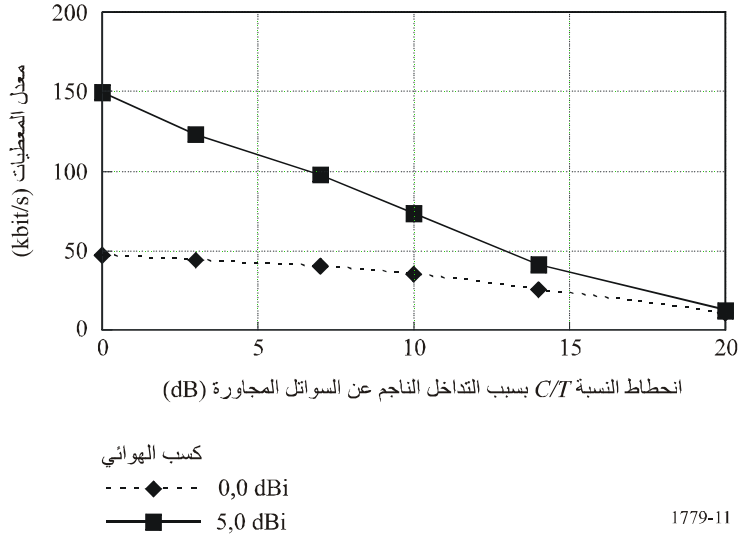
$(C/T)_{deg}$: سوية انحطاط النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة (dB)

N_s: عدد السواتل المجاورة

G_r: كسب هوائي مطراف المستعمل

الشـــكل 11

معدل المعطيات مع عدة سويات انحطاط في النسبة *C/T* بسبب التداخل الناجم عن السواتل المجاورة (النموذج 3)



5.3 التحليل

من أجل تسهيل عمليات التركيب والصيانة عند وقوع كوارث طبيعية وفي حالات الطوارئ، يستحسن استعمال المطاريف ذات الهوائي منخفض الكسب. وعلى الرغم من وجود سياسة تشغيلية قادرة على تحديد سوية التداخل في النظام، فإنه يتعذر تجنب انحطاط النسبة *C/T* الذي يسببه التداخل الناجم عن السواتل المجاورة. وهذا النوع من التداخل غير المضبوط من شأنه أن يؤثر كثيراً على معدل المعطيات.

وتظهر النتائج إمكانية تحقيق معدل معطيات بعشرات kbit/s حتى ولو أثر التداخل الناجم عن السواتل المجاورة على الإشارات المطلوبة. وبما أن تباعد عروض النطاق هو أهم مزايا هذا التطبيق مقارنة بالتطبيق 1، فإن مصممي النظام يستطيعون استعمال إشارة التمديد دون تسبيب تداخل في الإشارات FDMA التقليدية.

4 ملخص التحليل

يقدم هذا الملحق خصائص نظام ساتلي يعمل بإشارات تمديد للنطاق العريض من خلال تطبيقين حيث:

- تضاف إشارات التمديد إلى الإشارات FDMA التقليدية داخل نفس شبكات الخدمة FSS؛
- توزع عروض النطاق المكرسة على إشارات التمديد.

ويستطيع مصممو النظام أن يعرفوا أنظمة الخدمة FSS التي تستعمل إشارات التمديد للنطاق العريض معرفة جيدة بفضل نماذج النظام والخصائص التقنية التي تقدمها هذه الدراسة.

ونظراً لما يحدث هذه الأيام من كوارث طبيعية، فالتمكن من إيصال معلومات الطوارئ إلى سكان المناطق التي تعاني من مثل هذه الكوارث فور وقوعها أمر بغاية الأهمية. وفي مثل هذه الكوارث الطبيعية وحالات الطوارئ، يمكن استخدام النظام المقترح هنا في عمليات الإنذار والإغاثة.

الملحق 2

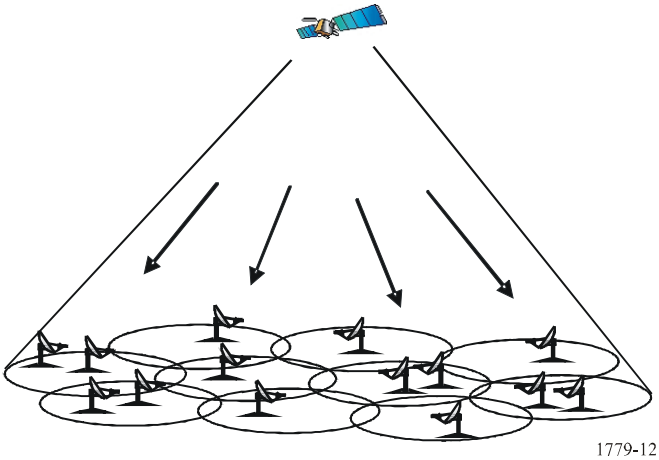
نظام خدمة ثابتة ساتلية مزود بعدد من الحزم النقطية الضيقة التي تستعمل نفاذاً متعدداً بتقسيم شفري (CDMA) (إشارات تمديد للنطاق العريض)

1 نظرة عامة

يتناول هذا الملحق بالدراسة استعمال تقنيات النفاذ CDMA في الأنظمة FSS التي تستخدم سواتل مع عدد من الحزم النقطية الضيقة. ويبين الشكل 12 المخطط العام لنظام الخدمة FSS. وترد المعلمات الأساسية لهذا النظام في الجدول 20. ومن أجل التحقق من فعالية استعمال تقنية النفاذ CDMA في هذا النوع من الأنظمة FSS، يجري تحليل استطاعة القناة في الحالة CDMA مقارنة باستطاعة القناة في حالات النفاذ FDMA. وتقتصر الدراسة من باب التيسير على الوصلات الهابطة. وتفترض أن يكون قطر الهوائي 45 cm، وهامش الحماية من المطر 3 dB (مطر معتدل)، وتردد الوصلة الهابطة 12,5 GHz. أما عدد الحزم النقطية، فهو 14 (انظر الشكلين 13 و16 لرؤية ترتيبها).

الشـــكل 12

النظام FSS بعدد من الحزم النقطية الضيقة



1779-12

الجـــدول 20

المعلمات الأساسية للنظام FSS المزود بعدد من الحزم النقطية الضيقة

المعلمات	القيم	ملاحظات
تردد الوصلة الهابطة (GHz)	12,5	
عرض نطاق المكرر (MHz)	36,0	
القدرة e.i.r.p. في الساتل المتشبع (dBW)	61,02	
خسارة الانتشار في الوصلة الهابطة (dB)	205,5	
هامش الحماية من المطر في الوصلة الهابطة (dB)	3,0	مطر معقول
النسبة *G/T* في مطراف المستعمل (dB/K)	11,19	قطر يساوي 45 cm
عدد الحزم النقطية	14	

2 استطاعة القناة في حالة النفاذ FDMA

عند استخدام النفاذ FDMA كنظام نفاذ متعدد في النظام FSS المزود بعدد من الحزم النقطية لا بد من تقطيع التردد في الحزم النقطية من أجل تجنب التداخل الناجم عن الحزم النقطية المجاورة، كما هو مبين في الشكلين 13 و14.

وكما هو الحال في الشبكات الخلوية للأرض، يمكن استعمال الخلايا سداسية الشكل لتصميم تغطية ساتلية بالحزم النقطية. وهناك عدة أنظمة لإعادة استعمال التردد (مثل عامل إعادة استعمال التردد مع النطاقات 3 و4 و7 و9 و13، إلخ). ويتحدد نظام إعادة استعمال التردد من خلال توافق بين فعالية الطيف ومقدار التداخل الناجم عن الخلايا الأخرى (أي الحزم النقطية) في القناة المشتركة. وتفترض هذه الدراسة أن عامل إعادة استعمال التردد هو 7 وهو التردد المستخدم مادة في الأنظمة الخلوية لعدد حزم نقطية قدره 14.

وتحسب استطاعة القناة المحددة بعرض النطاق، $N_{FDMA\text{-}BW}$، في الحالة FDMA باستعمال المعادلة التالية:

$$N_{FDMA\text{-}BW} = B_t/(B_c \cdot K) \cdot M = B_t/(R/\eta \cdot K) \cdot M \quad (3)$$

حيث B_t وB_C وR وη وK وM تمثل كامل عرض النطاق وعرض نطاق القناة ومعدل المعلومات وفعالية عرض النطاق (نسبة معدل المعلومات لكل وحدة عرض نطاق) وعامل إعادة استعمال التردد وعدد الحزم النقطية، على التوالي.

ومن ناحية أخرى تحسب استطاعة القناة المحددة بالقدرة، $N_{FDMA\text{-}POW}$، في الحالة FDMA باستعمال المعادلة التالية:

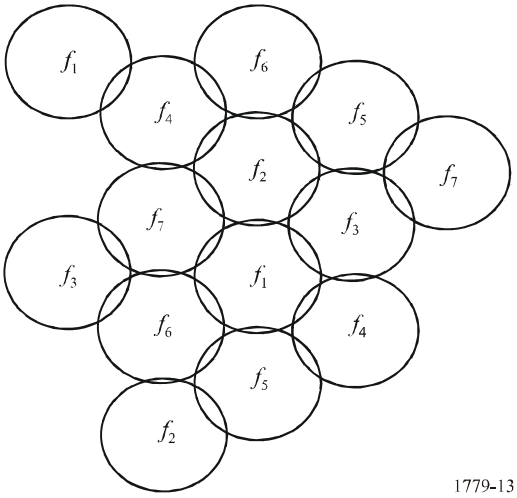
$$N_{FDMA\text{-}POW} = (C/N_0) / (E_b/N_0)_{th} \cdot \alpha \quad (4)$$

حيث C وN_0 و$(E_b/N_0)_{th}$ وα تمثل القدرة الكلية المستقبلة المتيسرة في النظام FSS وكثافة الضوضاء في النظام (AWGN) والنسبة E_b/N_0 المطلوبة مع فائدة تنشيط المعطيات (الصوتية)، على التوالي.

ونتيجة لذلك تتحدد استطاعة قناة النفاذ FDMA بأصغر قيمتين $N_{FDMA\text{-}BW}$ و$N_{FDMA\text{-}POW}$.

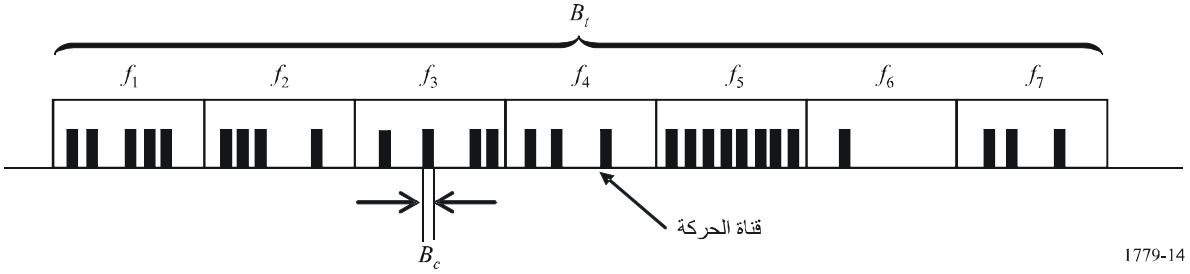
الشـــكل 13

ترتيب الحزم النقطية وإعادة استعمال التردد في نظام FSS بنفاذ FDMA



الشـــكل 14

توزيع الترددات في نظام FSS بنفاذ FDMA



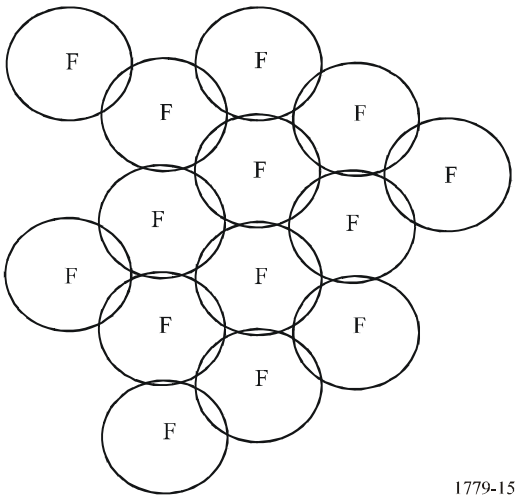
3 استطاعة القناة في حالة النفاذ CDMA

عند استخدام النفاذ CDMA كنظام نفاذ متعدد لا حاجة إلى تقطيع التردد في الحزم النقطية (الشكلان 15 و16). ويمكن استعمال كامل عرض النطاق (أي B_t) في جميع الحزم النقطية، خلافاً لما يجري في حالة النفاذ FDMA. ففي الحالة CDMA، تتحدد استطاعة القناة بصورة رئيسية من خلال كمية التداخل الناجم عن القنوات CDMA الأخرى العاملة في نفس الحزمة النقطية وفي الحزم النقطية المجاورة.

ويبين الشكل 17 عملية التشكيل (تشكيل أولي وتشكيل ثانوي) في النفاذ CDMA. وr_1 وr_2 هما معدل الإرسال بعد التشكيل الأولي (ويضم التصحيح FEC) وبعد التشكيل الثانوي على التوالي. أما b_1 وb_2 فهما عرض نطاق الضوضاء المكافئة للتشكيل الأولي والتشكيل الثانوي على التوالي. ويتحدد كسب التمديد G_p باعتباره نسبة b_2 إلى r_1 (أي $b_2/r_1 = G_p$).

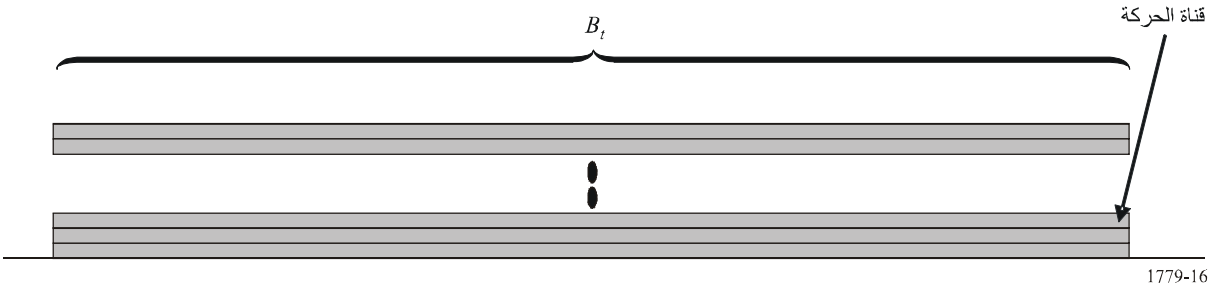
الشـــكل 15

ترتيب الحزم النقطية في نظام الخدمة FSS يعمل بنفاذ FDMA



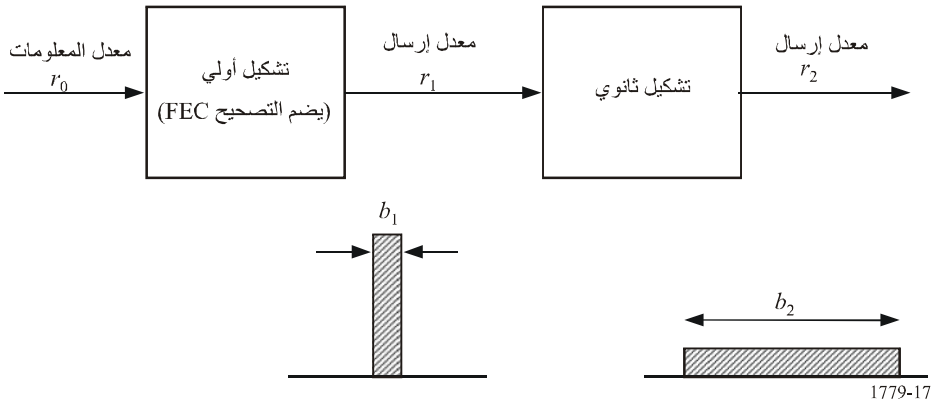
الشـــكل 16

توزيع التردد لنظام خدمة FSS يعمل بالنفاذ CDMA



الشـــكل 17

عملية تشكيل إشارة نفاذ CDMA



وترصد الإشارة المطلوبة وضوضاء النظام والتداخل الناجم عن قنوات CDMA أخرى عند مدخل المستقبل في الحالة CDMA، كما يبين الشكل 18. وفيما يلي مراحل حساب استطاعة القناة في الحالة CDMA:

المرحلة 1: يعبرَّ عن القدرة المستقبلة لقناة مطلوبة واحدة C' بالعلاقة $C/N_{CDMA} = C'$، حيث C وN_{CDMA} تمثلان القدرة الكلية المستقبلة المتيسرة في النظام FSS، واستطاعة القناة في الحالة CDMA.

المرحلة 2: يعبَّر عن كثافة التداخل الناجم عن قنوات CDMA أخرى، I_0، بالعلاقة $I_0 = C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} -1)/b_2$. و$b_2$ هو عرض النطاق المكافئ للتشكيل الثانوي، كما يبين الشكل 17. وتتحدد كثافة ضوضاء النظام دون مراعاة التداخل الناجم عن القنوات CDMA الأخرى باعتبارها N_0 (كثافة الضوضاء البيضاء الغوسية الإضافية (AWGN))؛

المرحلة 3: استناداً إلى المرحلتين 1 و2 يعبر عن $C'/(N_0+I_0)$ على النحو التالي:

$$C'/(N_0+I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/N_{CDMA} * (N_{CDMA} -1)/b_2) \quad (5)$$

المرحلة 4: وعند إجراء عملية التقريب $N_{CDMA} - 1 \doteq N_{CDMA}$ يمكن تبسيط المعادلة (5) عل النحو التالي:

$$C'/(N_0+I_0) = (C/N_{CDMA})/(N_0 + C/b_2) \quad (5bis)$$

المرحلة 5: يمكن التعبير من جهة أخرى عن $C'/(N_0+I_0)$ بالنسبة E_b/N_0 المطلوبة (وتسمى $(E_b/N_0)_{th}$ عن معدل المعلومات قبل التمديد b_1:

$$C'/(N_0+I_0) = (E_b/N_0)_{th} * r_1 \quad (6)$$

المرحلة 6: استناداً إلى المعادلتين (5*bis*) و(6) وعلى العلاقة $b_2/r_1 = G_p$ و$\{C/N_0\}/b_2 = C/N$ تنتج المعادلة التالية:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C/N +1)\} \quad (7)$$

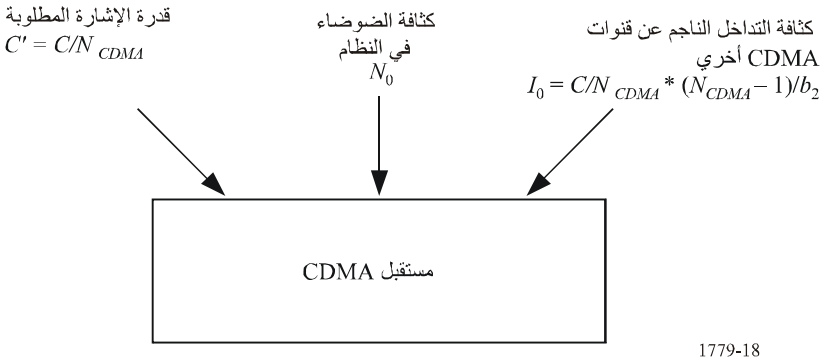
المرحلة 7: في المعادلة (7)، يؤخذ في الحسبان التداخل الناجم عن القنوات CDMA الأخرى في نفس الحزمة النقطية فقط. لكن في الحقيقة ينبغي إدخال التداخل الناجم عن القنوات CDMA في الحزم النقطية المجاورة أيضاً في الحساب. وإضافة إلى ذلك، يعتبر أثر تنشيط المعطيات (الصوتية)، α، بنفس الطريقة التي اتبعت في حالة النفاذ FDMA. ومع مراعاة هذه العناصر، يعبر عن استطاعة القناة في الحالة CDMA كالتالي:

$$N_{CDMA} = \{G_p / (E_b/N_0)_{th}\} * \{(C/N) / (C*(1 + \beta)/N + 1)\} * \alpha \quad (8)$$

حيث β تمثل نسبة مساهمة التداخل الناجم عن الحزم النقطية المجاورة إلى التداخل الناجم عن نفس الحزمة النقطية.

الشـــكل 18

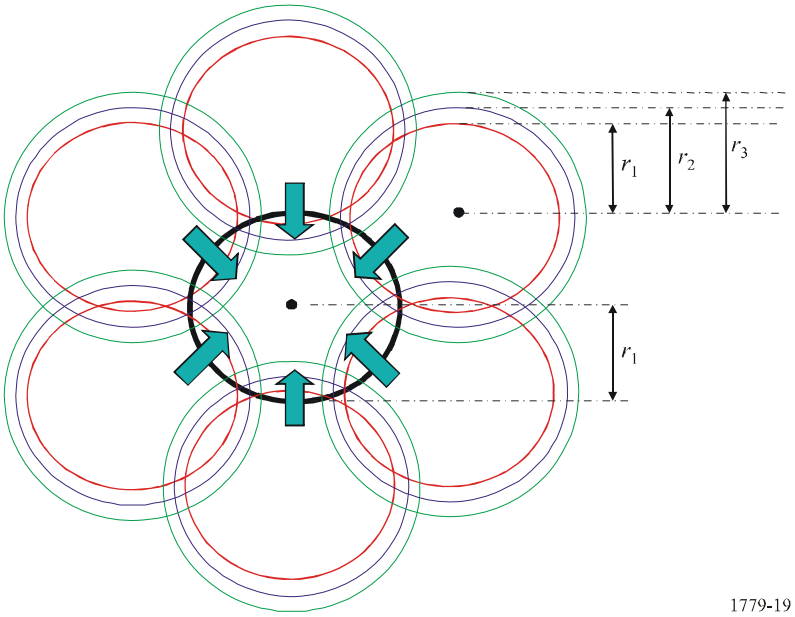
الإشارة والضوضاء/التداخل في مدخل المستقبل CDMA



ومن أجل تقدير القيمة β في المعادلة (8)، يستخدم نموذج الحزام النقطية الوارد في الشكل 19. وتوجد القناة المطلوبة في الحزمة الواقعة في وسط الشكل. وتحسب القدرة المتسربة من الحزم المجاورة الست في الكفاف البالغ dB 3 من الحزمة المركزية (الدائرة المرسومة بالأسود العريض)، بافتراض أن الحركة موزعة توزيعاً منتظماً على المواقع في كل حزمة نقطية. ويتحدد نصف قطر الكفاف البالغ dB 3 لكل حزمة نقطية r_1. وفيما يتعلق بالحزم المجاورة، يفترض كفاف يبلغ dB 6 مع نصف قطر r_2 (= r_1*1,2) لأغراض حساب تسرب القدرة. وينتج عن ذلك القيمة β البالغة 0,75.

الشـــكل 19

نموذج حزم نقطية لحساب التسرب من الحزم المجاورة



4 تقويم استطاعة القنوات باستعمال معلمات النظام المثال

لتقويم استطاعة النظام FSS المزود بعدد من الحزم النقطية الضيقة يتم الاستناد إلى معلمات الإرسال عند استعمال النفاذين FDMA وCDMA، كما يبين الشكل 21. ولتقدير حساسية القناة لقدرة الساتل وموارد عرض النطاق في الحالة FDMA، تستخدم عدة طرائق تشكيل/FEC. ولا فائدة ترجى من استخدام تشكيل أعلى مرتبة (مثل 8-PSK أو 16-QAM) للتشكيل الأولي في الحالة CDMA، لأن ذلك لا يفضي إلى كسب أكبر للتمديد. وبناء على ما تقدم، تحتفظ هذه الدراسة بمجموعات التشكيل والتصحيح التالية:

الحالة 1: FDMA: QPSK مع شفرة دوران 1/2.

الحالة 2: FDMA: 8-PSK مع تشكيل 2/3 TCM وشفرة ريد–سولومون (201، 219).

الحالة 3: FDMA: 16-QAM مع تشكيل 3/4 TCM وشفرة ريد–سولومون (201، 219).

الحالة 4: CDMA: QPSK مع شفرة دوران 1/2.

وترد القيم المطلوبة للنسبة $E_b/(N_0+I_0)$ في طرائق التشكيل/FEC لإجراء هذا التقييم في الجدول 21 وتعادل معدل خطأ البتات (BER) قدره 1×10^{-8}. ويبين معدل التصحيح FEC المعدل المركب للشفرتين الداخلية والخارجية.

الجـــدول 21

معلمات الإرسال لتقييم استطاعة القنوات

المعلمات	الحالة 1	الحالة 2	الحالة 3	الحالة 4
FDMA/CDMA	FDMA	FDMA	FDMA	CDMA
تشكيل أولي				
معدل المعلومات، r_1 (kbit/s)	64	64	64	64
تشكيل	QPSK	8-PSK	16-QAM	QPSK
معدل التصحيح FEC	0,50	0,61	0,69	0,50
عرض نطاق الضوضاء المكافئ، b_1 (kHz)	64,0	34,9	23,3	64,0
عرض النطاق المشغول، b_1' (kHz)	89,6	48,8	32,5	89,6
فعالية الطيف (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97	0,71
النسبة $E_b/(N_0+I_0)$ (dB) المطلوبة	3,2	6,9	9,4	3,2
تشكيل ثانوي				
تشكيل	N/A	N/A	N/A	BPSK
عرض نطاق الضوضاء المكافئ، b_2 (MHz)	N/A	N/A	N/A	25,6
عرض النطاق المشغول b_2' (MHz)	N/A	N/A	N/A	36

N/A: لا ينطبق

تم حساب استطاعة القنوات في حالات النفاذ FDMA المبينة في الجدول 21 (الحالات من 1 إلى 3) على النحو الوارد في الجدول 22. واستنتجت المعلمات الأساسية استناداً إلى الجدول 21. أما تراجع قدرة المقرر فبلغ 3 dB في التشكيلين QPSK و8-PSK و6 dB في التشكيل 16-QAM.

الجـــدول 22

حساب استطاعة القنوات في حالات النفاذ FDMA

المعلمات	الحالة 1	الحالة 2	الحالة 3
القدرة e.i.r.p. في ساتل متشبع (dBW)	61,02	61,02	61,02
تراجع قدرة المقرر (dB)	3,0	3,0	6,0
خسارة الانتشار (dB)	205,5	205,5	205,5
هامش الحماية من المطر (dB)	3,0	3,0	3,0
النسبة G/T في مطراف المستعمل (dB/K)	11,19	11,19	11,19
النسبة C/N_0 عند الاستقبال (dBHz)	89,31	89,31	86,31
النسبة $E_b/(N_0+I_0)$ المطلوبة (dB)	3,2	6,9	9,4
فائدة تنشيط المعطيات	2,5	2,.5	2,5
استطاعة القنوات المحددة بالقدرة (Mbit/s)	1 020,3	435,25	122,68
عرض نطاق المكرر (MHz)	36,0	36,0	36,0
فعالية الطيف (bit/s/Hz)	0,71	1,31	1,97
عامل إعادة استعمال التردد	7	7	7
عدد الحزم النقطية	14	14	14
استطاعة القنوات المحددة بعرض النطاق (Mbit/s)	51,12	94,32	141,84
استطاعة القنوات الناتجة (Mbit/s)	51,12	94,32	122,68

وفي الجدول 22، يجري حساب استطاعة القنوات بدلالة القدرة واستطاعة القنوات بدلالة عرض القناة استناداً إلى المعادلتين (3) و(4)، على التوالي.

وتحسب استطاعة القنوات في حالة النفاذ CDMA في الجدول 21 (الحالة 4) على النحو المبين في الجدول 23. وتنتج المعلمات الأساسية استناداً إلى الجدول 21. أما في الجدول 23، فتحسب استطاعة القنوات باستعمال المعادلة (8). ويجدر بالذكر أن هذه الدراسة تفترض أفضل توزيع لحركة منتظمة على الحزم النقطية.

الجـــدول 23

حساب استطاعة القنوات في الحالة CDMA

المعلمات	الحالة 4
معدل المعلومات، r_1 (kbit/s)	64
عرض نطاق الضوضاء في التشكيل الثانوي، b_2 (MHz)	25,71
كسب التمديد، G_p	401,79
القدرة e.i.r.p. في الساتل المتشبع (dBW)	61,02
تراجع القدرة في المكرر (dB)	3,0
خسارة الانتشار (dB)	205,5
هامش المطر (dB)	3,0
النسبة G/T في مطراف المستعمل (dB/K)	11,9
عدد الحزم النقطية	14
النسبة C/N_0 عند الاستقبال (كامل النظام) (dBHz)	89,31
النسبة C/N_0 عند الاستقبال (لكل حزمة نقطية) (dBHz)	77,84
النسبة C/N الناتجة نسبة إلى عرض النطاق b_2 (لكل حزمة نقطية) (dB)	3,74
النسبة $E_b/(N_0+I_0)$ المطلوبة (dB)	3,2
نسبة التداخل الناجم عن الحزم النقطية المجاورة إلى التداخل الناجم عن نفس الحزمة، β	0,75
$C\,(1+\beta)/N + 1$	5,2
فائدة تنشيط المعطيات، α	2,5
استطاعة القنوات (لكل حزمة نقطية) (Mbit/s)	14,16
استطاعة القنوات (لكامل النظام) (Mbit/s)	198,3

5 ملخص الدراسة

استناداً إلى الحسابات الواردة في الجدولين 22 و23 يمكن استنتاج أن استطاعة القنوات في الحالة CDMA (الحالة 4) هي أكبر استطاعة في النظام FSS الذي يضم هذه المجموعة من المعلمات المقترحة، وذلك للأسباب التالية:

- تعمل غالبية الأنظمة FSS في حالات تكون فيها القدرة محدودة. ولا يوفر استعمال النفاذ CDMA في مثل هذه الحالات استطاعة نظام أكبر من الاستطاعة التي يوفرها استعمال النفاذ FDMA. لكن نظراً لإنشاء أنظمة ساتلية مزودة بعدد كبير من الحزم النقطية الضيقة، فإن الحالات التي يكون فيها عرض النطاق محدوداً بدأت بالظهور.

– واستعمال الترددات التي تستخدم في الحزم المجاورة ممنوع في نظام تقطيع التردد المستخدم في حالة النفاذ FDMA (الشكلان 13 و14) بغض النظر عن موقع المحطة الأرضية داخل حزمة نقطية، ولو أنه من غير المرجح أن تكون القناة المستعملة تعاني من التداخل في نفس الوقت من قنوات الحزم المجاورة المتعددة. والتشغيل مع استعمال تردد على هذا النحو ضروري خصوصاً في الحالة التي يتقاسم فيها عدد من المحطات الأرضية القنوات على أساس الطلب (كما هو الحال في النظام FSS العامل مع عدد كبير من المطاريف الصغيرة VSAT وUSAT). ويتميز النفاذ CDMA بالمرونة في تخصيص القنوات نظراً لعدم وجود تقطيع تردد في الحزم النقطية خلافاً للحالات FDMA. ونتيجة لذلك يمكن استعمال عرض النطاق استعمالاً فعالاً في حال النفاذ CDMA.

ومن جهة أخرى، ينبغي على مصمم النظام إيلاء الانتباه الوافي لتوزيع الحركة في النظام FSS نظراً لأن هذه الدراسة لا تتناول إلاّ توزيع الحركة في تغطية الحزم النقطية.

ويجدر بالذكر أن نتيجة هذا الحساب قابلة للتطبيق على عرض نطاق أوسع ولو أن عرض نطاق المكرر البالغ 36 MHz هو المثال المستخدم في هذه الدراسة.

ثمة فائدة أخرى لتقنية النفاذ CDMA هي تشغيل النظام FSS مع عدة معدلات معلومات مختلفة في الوصلة الصاعدة. وفي حال تشكيل مثل هذا النظام في النفاذ FDMA، من الضروري اتباع إجراء معقد للتحكم في تخصيص الترددات يستعمل عدداً من الموجات الحاملة مختلفة الطول ويتطلب تقييم نظام CDMA من هذا القبيل مزيداً من الدراسة.

الملحق 3

نظام ساتلي يستعمل إشارات تمديد للنطاق العريض في الوصلات الصاعدة بهدف خفض الإرسالات خارج محور التسديد

1 نظرة عامة

إن قيم كثافة القدرة .e.i.r.p خارج محور التسديد التي تنص عليها التوصية ITU-R S.524 والمتصلة بنطاق الخدمة FSS 30-27,5 GHz صارمة جداً مقارنة بتلك المتعلقة بنطاقات الخدمة FSS 13,25-12,75 GHz/13,75-14,5 GHz والنطاق 6 GHz. ومن أجل الوفاء بالقيم الموصى بها، خاصة عندما تكون النسبة *G/T* في الساتل منخفضة نسبياً، يستحسن استخدام تمديد الإشارات كتشكيل ثانوي.

2 مثال معلمات النظام

تظهر معلمات النظام كمثال في الجدول 24. ومعدلات المعلومات هي 1 و10 و100 Mbit/s، وهي تستعمل التشكيل BPSK والتشفير التلافيفي/فك تشفير فيتربي مع معدل FEC قدره 1/2 للحصول على 1×10^{-8} من نسبة أخطاء في البتات (BER). وتبلغ النسبة *G/T* في الساتل 10 dB/K. ويبلغ قطر الهوائي 45 أو 75 cm ويتبع مخطط الهوائي الوارد في الملحق III بالتذييل 8 للوائح الراديو مخططاً مرجعياً.

الجـــدول 24

معلمات النظام

المعلمة	القيمة
تردد الإرسال (GHz)	29,25
معدل المعلومات (Mbit/s)	1/10/100
التشكيل	BPSK
FEC	تشفير تلافيفي
معدل FEC	1/2
المعدل BER المنشود	10^{-8}
النسبة G/T في الساتل (dB/K)	10
قطر الهوائي (cm)	45 cm ($D/\lambda = 43,9$)، 75 cm ($D/\lambda = 73,1$)
مخطط الهوائي المرجعي	التذييل 8 من لوائح الراديو، الملحق III ($D/\lambda < 100$)

ويتم حساب عرض نطاق الضوضاء المكافئ والنسبة C/N المطلوبة على النحو المذكور في الجدول 25.

الجـــدول 25

عرض نطاق الضوضاء المكافئ والنسبة C/N المطلوبة

معدل المعلومات (Mbit/s)	عرض نطاق الضوضاء (MHz)	النسبة E_b/N_0 المطلوبة (dB)	النسبة C/N المطلوبة (dB)
1	2,0	5,9	2,9
10	20,0	5,9	2,9
100	200,0	5,9	2,9

وتحسب قيمة النسبة C/N باستعمال المعادلة (6) مع معلمات الوصلة كما يرد في الجدول 26.

$$C/N = P_t - L_{feed} - L_p + G_t - L_f - L_a + G/T + 228.6 - B - \alpha \quad (9)$$

ويلاحظ أن نفس مقدار الضوضاء الموجود في الوصلة الصاعدة موزع على مصادر الضوضاء الأخرى ومنها ضوضاء الوصلة الهابطة في المعادلة (9). وبعبارة أخرى يفترض أن انحطاط النسبة C/N الذي تسببه مصادر الضوضاء هذه قدره 3 dB (انظر القيمة α في الجدول 26).

الجـــدول 26

معلمات الوصلة

المعلمة	القيمة	الملاحظة
الخسارة في خط التغذية، L_{feed} (dB)	0,5	
خطأ تسديد الهوائي، L_p (dB)	0,2	
كسب هوائي الإرسال، G_t (dBi)	40,6 (قطر الهوائي 45 cm) 45,0 (قطر الهوائي 75 cm)	فعالية بنسبة 60% تردد قدره 29,25 GHz
خسارة الانتشار، L_f (dB)	213,3	
الامتصاص الجوي، L_a (dB)	0,4	
النسبة G/T في الساتل (dB/K)	10	المرجع الجدول 24
عرض نطاق ضوضاء مكافئ، B (MHz)	–	المرجع الجدول 25
انحطاط النسبة C/N الناتج عن مصادر ضوضاء أخرى، α (dB)	3	تضم الضوضاء في الوصلة الهابطة

3 النتائج

استناداً إلى المعادلة (9) والجدولين 25 و26 يمكن حساب قدرة الخرج، P_t، المطلوبة في المكبر HPA للمحطة الأرضية كما يرد في الجدول 27.

الجـــدول 27

القدرة (W) الناتجة المطلوبة عند المكبر HPA في المحطة الأرضية، P_t

معدل المعلومات (Mbit/s)	قطر الهوائي	
	cm 45	cm 75
1	2,6	0,9
10	25,8	9,4
100	257,6	93,5

إن قيم كثافة القدرة .e.i.r.p خارج المحور والناتجة عن استعمال قيم الجدول 27 ومخطط الهوائي المرجعي الوارد في الملحق III بالتذييل 8 من لوائح الراديو تتجاوز القيم التي ينص عليها البند 4 من الفقرة *توصـــي* في التوصية ITU-R S.524. فعلى سبيل المثال، يتم تجاوز القيمة الموصى بها عند زاوية تخالف قدرها 5º في حالة هوائي قطره 45 cm بحوالي 3,3 dB. وبالإمكان خفض كثافة القدرة .e.i.r.p خارج محور التسديد باستخدام تمديد الإشارات كتشكيل ثانوي.

وترد كثافة القدرة .e.i.r.p خارج المحور في كل حالة مع/دون استخدام تقنيات تمديد الإشارة في الجدول 28 والشكلين 20 و21. ويستعمل عامل التمديد 4 في تطبيق تقنية التمديد.

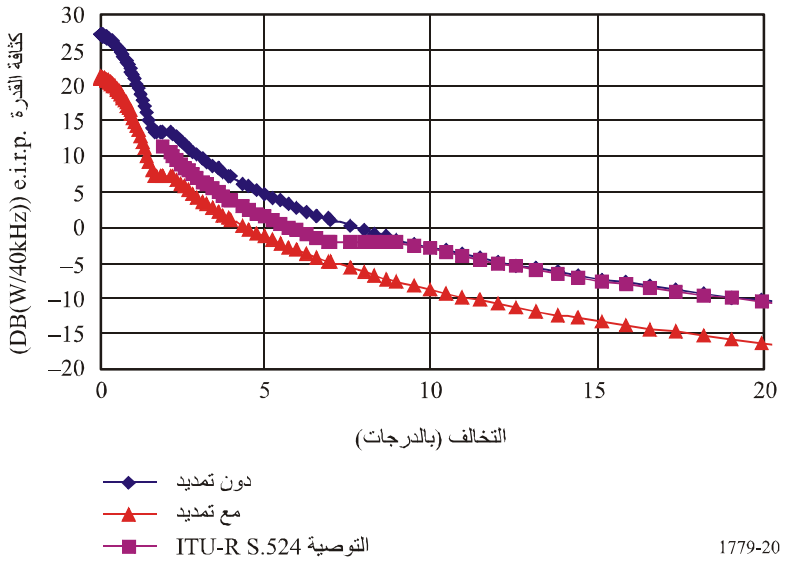
الجـــدول 28

كثافة قدرة e.i.r.p. خارج محور التسديد ((dB(W/40 kHz)) مع/دون إشارات تمديد

زاوية الانحراف عن المحور الرئيسي (بالدرجات)	القيم في التوصية ITU-R S.524	هوائي قطره 45 cm		هوائي قطره 75 cm	
		مع تمديد	دون تمديد	مع تمديد	دون تمديد
2,0	11,5	13,3	7,3	11,1	5,1
3,0	7,1	10,3	4,2	6,7	0,7
4,0	3,9	7,2	1,2	3,6	2,4–
5,0	1,5	4,8	1,2–	1,2	4,8–
6,0	0,5–	2,8	3,2–	0,8–	6,8–
7,0	2,0–	1,1	4,9–	2,4–	8,4–
8,0	2,0–	0,3–	6,3–	3,9–	9,9–
9,0	2,0–	1,6–	7,6–	5,1–	11,2–
10,0	3,0–	2,7–	8,7–	6,3–	12,3–

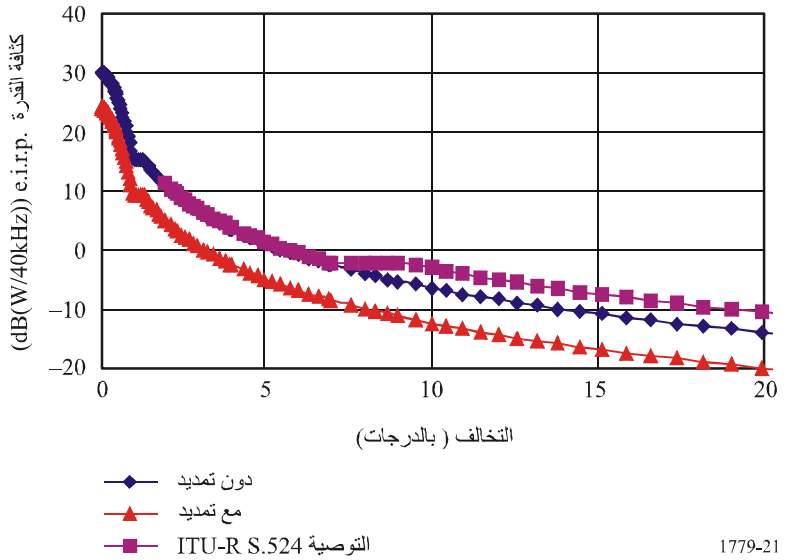
الشـــكل 20

كثافة القدرة e.i.r.p. خارج محور التسديد مع/دون إشارات تمديد
(هوائي قطره 45 cm)



الشـــكل 21

كثافة القدرة e.i.r.p. خارج محور التسديد مع/دون إشارات تمديد (هوائي قطره 75 cm)



4 الملخص

من المفيد استخدام إشارات التمديد للنطاق العريض كتشكيل ثانوي في الوصلة الصاعدة للنطاق GHz 30/20 من أجل خفض كثافة القدرة e.i.r.p. خارج المحور وذلك للوفاء بالقيم التي تنص عليها توصيات قطاع الاتصالات الراديوية ذات الصلة (مثل التوصية ITU-R S.524). ويفرض هذا الخفض لكثافة القدرة e.i.r.p. خارج المحور استعمال عرض نطاق أكبر. ويلاحظ أن المثال الوارد في هذه التوصية لا يفترض موجات حاملة متعددة للإرسال في المحطة الأرضية في نفس عرض النطاق، أي النفاذ CDMA، لكن يتعين مراعاة هذه الآثار إذا ما استخدم مصمم النظام النفاذ CDMA في هذا النوع من التطبيقات.

_____