**التوصيـة ITU-R  SM.1046-2  
(2006/05)**

**تحديد استخدام الطيف وكفاءة  
النظام الراديوي**

**السلسلة SM**

**إدارة الطيف**

**تمهيـد**

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

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

|  |  |
| --- | --- |
| **سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية**  (يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>) | |
| **السلسلة** | **العنـوان** |
| **BO** البث الساتلي | |
| **BR** التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية | |
| **BS** الخدمة الإذاعية (الصوتية) | |
| **BT** الخدمة الإذاعية (التلفزيونية) | |
| **F** الخدمة الثابتة | |
| **M** الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة | |
| **P** انتشار الموجات الراديوية | |
| **RA** علم الفلك الراديوي | |
| **RS** أنظمة الاستشعار عن بعد | |
| **S** الخدمة الثابتة الساتلية | |
| **SA** التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية | |
| **SF** تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة | |
| **SM إدارة الطيف** | |
| **SNG** التجميع الساتلي للأخبار | |
| **TF** إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت | |
| **V** المفردات والمواضيع ذات الصلة | |

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

*النشر الإلكتروني*جنيف، 2011

© ITU 2011

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

التوصيـة ITU-R SM.1046-2[[1]](#footnote-1)\*

تحديد استخدام الطيف وكفاءة النظام الراديوي

(2006-1997-1994)

مجال التطبيق

تحتوي النسخة المراجعة لهذه التوصية على طريقة أخرى تتيح تحديد كفاءة استخدام الطيف (SUE) لأغراض أنظمة راديوية مختلفة (متنقلة، من نقطة إلى نقطة وغيرها).

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ ) أن الطيف مورد طبيعي محدود له قيمة اقتصادية واجتماعية كبرى؛

ب) وأن الطلب على استخدام الطيف يتزايد بسرعة؛

ج) وأن عدداً من العوامل المختلفة، كاستخدام نطاقات تردد مختلفة لخدمات راديوية معينة، والطرائق ذات الصلة بإدارة الطيف للشبكات في تلك الخدمات، والخصائص التقنية للمرسلات والمستقبِلات والهوائيات المستخدمة في هذه الخدمات، وما إلى ذلك، يؤثر تأثيراً هاماً على استخدام الطيف وكفاءته ومن خلال استمثاله، وخاصة فيما يتعلق بالتكنولوجيات الجديدة أو المحسنة، يمكن من تحقيق وفورات هامة في الطيف؛

د ) وأن ثمة حاجة لتحديد درجة وكفاءة استخدام الطيف كأداة لمقارنة وتحليل تقدير الكسب المحقق بالتكنولوجيات الجديدة أو المحسنة خاصة من قبل الإدارات في مجال التخطيط الوطني الطويل الأجل لاستخدام الطيف وتطوير الاتصالات الراديوية؛

ﻫ ) وأن مقارنة كفاءة الطيف بين النظم الراديوية الفعلية أمر بالغ الفائدة عند استنباط تكنولوجيات جديدة أو تحسين التكنولوجيات وعند تقييم أداء الأنظمة القائمة،

توصي

**1** باستخدام المجال المركب من عرض النطاق والمكان والوقت، كمفهوم أساسي، باعتباره مقياساً لاستخدام الطيف - "عامل استخدام الطيف" على النحو المبين في الملحق 1 لتجهيزات الإرسال والاستقبال الراديوية؛

**2** بحساب كفاءة استخدام الطيف (SUE) أو فعالية الطيف من خلال تحديد التأثير النافع الناتج عن الأنظمة الراديوية بفضل استخدام الطيف وعامل استعمال الطيف على النحو الموضح في الملحق 1. ويمكن الاطلاع على بعض الأمثلة لاستخدام هذه المفهوم في الملحق 2؛

**3** باستخدام المفهوم الأساسي لكفاءة الطيف النسبية على النحو المبين في الملحق 1 لمقارنة كفاءات الطيف بين الأنظمة الراديوية؛

**4** بألا تجرى أي مقارنة لكفاءات الطيف إلا بين الأنماط المتشابهة من الأنظمة الراديوية التي تقدم خدمات اتصالات راديوية متشابهة كما هو مبين في الفقرة 4 من المرفق 1؛

**5** بأن تراعى عند تحديد كفاءة الطيف تفاعلات شتى النظم والشبكات الراديوية في البيئة الكهرمغنطيسية المعنية.

**الملحق 1**

معايير عامة لتقييم عامل استخدام الطيف وكفاءته

# 1 عامل استخدام الطيف

تتحقق كفاءة استخدام الطيف (ضمن أمور أخرى) بالعزل الناتج عن اتجاهية الهوائيات والمباعدة الجغرافية وتقاسم الترددات أو من استخدام الترددات تعامدياً وتقاسم الوقت أو تقسيمه وتظهر هذه الاعتبارات في تعريف استخدام الطيف. ولذلك يعرف قياس استخدام الطيف - عامل استخدام الطيف (*U*) بأنه ناتج عرض نطاق التردد والفضاء الهندسي (الجغرافي) والوقت الممنوع على مستعملين آخرين محتملين:

(1)

حيث:

*B*: عرض نطاق التردد

*S*: الفضاء الهندسي (منطقة عموماً)

*T*: الوقت.

وقد يكون الفضاء الهندسي المعني حجماً أو خطاً (مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض، مثلاً) أو على قطاع زاوي حول نقطة. ومقدار المكان الممنوع يتوقف على كثافة القدرة الطيفية. وفي تطبيقات كثيرة يمكن صرف النظر عن مسألة الوقت لأن الخدمة تعمل بشكل مستمر. ولكن في بعض الخدمات ومثلاً في الإذاعة والقناة الوحيدة المتنقلة يكون عامل الوقت مهماً للتقاسم وينبغي أن تؤخذ العوامل الثلاثة جميعها في الحسبان آنياً وأن تستمثل.

ويمكن حساب قياس الطيف بضرب عرض النطاق المحدد للبث (كعرض النطاق المشغول مثلاً) في مجال التداخل، أو يمكن أن يراعى القالب الفعلي لكثافة طيف القدرة في البث وخصائص إشعاع الهوائي.

تجري العادة على اعتبار المرسلات الراديوية مستعملي المورد الطيفي. فهي تستخدم الفضاء الطيفي بشغل جزء منه بقدرة راديوية كبيرة، حتى أن الأنظمة الأخرى لا تستطيع العمل في مواقع وأوقات وترددات معينة بسبب التداخل غير المقبول. ويلاحظ أن المرسل يمنع الفضاء على المستقبِلات فقط. ولمجرد أن الفضاء يشمل القدرة فإنه لا يمنع إطلاقاً أي مرسل آخر من قدرة البث في الفضاء نفسه؛ أي أن المرسل لا يمنع تشغيل مرسل آخر.

والمستقبِلات تستخدم الفضاء الطيفي لأنها تنكره على المستقبِلات. ومجرد التشغيل المادي للمستقبل لا يتداخل مع غيره (إلا إذا عمل بغير عمد كمرسل أو مصدر قدرة). وحتى حينذاك فإن الفضاء المستخدم مادياً يكون صغيراً نسبياً. ومع هذا تمنع السلطات الترخيص بالمرسلات في سعي منها إلى ضمان الاستقبال الخالي من التداخل. وقد تكون الحماية في الفضاء (مسافة الفصل أو مسافة التنسيق) أو في الترددات (النطاق الحارس) أو حتى في الوقت (في الولايات المتحدة الأمريكية يقتصر عمل بعض محطات الإذاعة MF على الفترة النهارية). ويشكل الإنكار "استخدام" الفضاء بمستقبل. ونطاقات الفلك الراديوي أمثلة معروفة على الاعتراف باستخدام المستقبِلات للفضاء الطيفي.

ومن بين طرائق الجمع بين هذه الحقائق في وحدة قياس للفضاء الطيفي تقسم المورد إلى فضاءين -واحد للمرسل وواحد للمستقبل- وتعريف وحدات زوجية لقياس استخدام كل فضاء. وحيث تكون البساطة هي الأهم، يمكن إعادة جمع الوحدتين في قياس واحد لاستخدام النظام.

ويمكن الاطلاع على مزيد من المعلومات المتعلقة بالنهج العام في حساب عامل استخدام الطيف في الفصل 8 من كتيب الإدارة الوطنية للطيف. (جنيف، 2005).

# 2 كفاءة استخدام الطيف (SUE)

وفقاً لتعريف كفاءة استخدام الطيف (SUE) (أو كفاءة الطيف كمصطلح مختصر) لأي نظام اتصالات راديوية يمكن تطبيق المعادلة التالية:

*SUE* = {*M*, *U*} = {*M*, *B* ⋅ *S* ⋅ *T*} (2)

حيث:

*M:* تأثير نافع ناتج عن نظام الاتصالات المعني

*U:* عامل استعمال الطيف في النظام المذكور.

بالإمكان تقليص الدليل المركب لفعالية الطيف، حسب الاقتضاء، إلى دليل بسيط ينطوي على نسبة التأثير النافع إلى عامل استعمال الطيف على النحو التالي:

 (2а)

# 3 الكفاءة النسبية للطيف (RSE)

يمكن استخدام مفهوم الكفاءة النسبية للطيف (RSE) بشكل فعال لمقارنة كفاءات طيف نمطين متماثلين من الأنظمة الراديوية يقدمان نفس الخدمة.

وتعرف الكفاءة النسبية للطيف بأنها نسبة كفاءتين طيفيتين، إحداهما قد تكون كفاءة نظام مستخدم كمعيار للمقارنة، ومن ثم،

*RSE*  *SUEa* / *SUEstd* (3)

حيث:

*RSE*: الكفاءة النسبية للطيف = نسبة SUEs

*SUEstd*: كفاءة استخدام الطيف (SUE) لنظام "معياري"

*SUEa*: كفاءة استخدام الطيف (SUE) لنظام فعلي.

والمحتمل ترشيحه لنظام معياري هو:

- أكفأ نظام نظرياً،

- نظام يمكن تعريفه وفهمه بسهولة،

- نظام يستخدم على نطاق واسع - معيار صناعي *واقعي*.

وتكون الكفاءة النسبية للطيف (RSE) عدداً موجباً بقيم تتراوح بين الصفر واللانهاية. فإذا كان النظام المعياري قد اختير ليكون أكفأ النظم نظرياً فإن الكفاءة النسبية للطيف تتراوح نمطياً بين الصفر والواحد.

وعلى سبيل المثال، فإن أكفأ النظم نظرياً يمكن أن يميز حسب مبادئ نظرية المعلومات. وتتحدد مقدرة الاتصال، لأي قناة اتصال يستقبل عليها مشترك أو مستمع، اتصالا مطلوباً، وفق العلاقة التالية:

*C*0  *F*0 ln(1  0)

حيث:

*F*0: عرض نطاق الاتصال المطلوب

ρ0: نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند خرج المستقبِل.

وإذا ساوت نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند دخل المستقبِل نسبة الحمايةρ*s* وساوى عرض نطاق قناة الاتصال التي ترسل الإشارات عبرها *Fm*، فحينئذ تكون مقدرة الاتصال *Cp* = *Fm* *ln*(1  *s*). ويجب أن تتجاوز، أو على الأقل أن تساوي، مقدرة اتصال القناة التي يستقبل المشترك عبرها، اتصالاً مطلوباً أي، *Cp* *C*0. ومن ثم، تعرف أدنى قيمة ممكنة لنسبة الحماية ρ*s*التي يستقبل عندها المشترك اتصالاً بنسبة إشارة إلى ضوضاء مساوية ﻟ ρ0، على النحو التالي:

(4)

والميزة الرئيسية للحساب المباشر للكفاءة النسبية للطيف (RSE) هي أنها في الغالب أسهل من حساب كفاءات استخدام الطيف (SUEs). وبما أن الأنظمة تقدم خدمة متماثلة فسيكون لها عادة عوامل كثيرة (بل وأحياناً مكونات مادية) مشتركة. ويعني هذا، أن عوامل كثيرة سوف "تلغي" الحساب قبل الحاجة إلى حسابها فعلياً. وهذا في الغالب، يقلل كثيراً من تعقيدات الحساب.

ويمكن الاطلاع على بعض أمثلة حساب الكفاءة النسبية للطيف (RSE) في الملحق 2 والفصل 8 من كتيب الإدارة الوطنية للطيف (جنيف، 2005).

# 4 مقارنة كفاءات الطيف

كما ذكر في الأقسام السابقة، يمكن حساب كفاءات استخدام الطيف في عدة أنظمة مختلفة ويمكن فعلاً مقارنتها للحصول على الكفاءات النسبية للأنظمة. غير أن هذه المقارنات يتعين إجراؤها بحذر. وعلى سبيل المثال، فكفاءات استخدام الطيف (SUEs) للنظام الراديوي البري المتنقل وللنظام الراداري مختلفة جداً. فمعدل نقل المعلومات في المستقبِلات والمرسلات في هذين النظامين مختلف حتى أن كفاءة استخدام الطيف فيهما ليست متناسبة. فمن غير المفيد حينئذ، بوجه خاص، عقد المقارنة بينهما. ومن ثم فمقارنة كفاءة الطيف ينبغي ألا تجري إلا بين أنماط من الأنظمة مشابهة وتقدم خدمات اتصالات راديوية متماثلة. ومن المفيد لعقد هذه المقارنة لكفاءة الطيف أو استخدام النظام نفسه بمضي الوقت معرفة ما إذا طرأ أي تحسن في المجال المحدد قيد الدراسة.

كذلك، جدير بالملاحظة، أنه على الرغم من أن كفاءة الطيف عامل هام لأنه يسمح بأقصى قدر من الخدمة المستقاة من الطيف الراديوي فهي ليست العامل الوحيد الذي يُبحث. وتشمل العوامل الأخرى المتعين إدراجها في انتقاء أي تكنولوجيا أو نظام تكلفة وتوافر التجهيزات والتوافق مع التجهيزات والتقنيات الموجودة واعتمادية النظام، وعوامل التشغيل.

**الملحق 2**

أمثلـة

# 1 استخدام الأنظمة المتنقلة البرية الراديوية للطيف

## 1.1 كفاءة الطيف في نظام راديوي خلوي داخلي

كفاءة الطيف في نظام راديوي بيكو خلوي داخلي في نطاق تردد بين MHz 900 وGHz 60، يمكن أيضاً استقاؤها باستخدام المعادلة (2). فمن هذه المعادلة يمكن تعريف كفاءة طيف أي نظام راديوي بيكو خلوي داخلي على النحو التالي:

(عرض النطاق × المساحة)/إرلنغ (5)

حيث إرلنغ هي حركة الصوت الكلية المحمولة في نظام بيكو خلوي، وعرض النطاق هو مجموع مقدار الطيف الذي يستخدمه النظام، والمساحة هي مجموع مساحة الخدمة التي يغطيها النظام. وبما أن النظام البيكو خلوي ينفذ في مبنى مرتفع فمجموع مساحة الطوابق يستخدم في حساب كفاءة الطيف. وعدد القنوات المطلوبة لكل خلية يمكن حسابه، حينئذ، على أساس جداول إرلنغ B لعدد معين من المستعملين في الطابق والحركة لكل مستعمل.

### 1.1.1 النظام البيكو خلوي الذي يغطي مبنى

لحساب عرض النطاق الكلي اللازم للمبنى بأكمله يقتضي الأمر معرفة المسافة الرأسية لإعادة الاستعمال من حيث عدد الطوابق المطلوب. وهذه المعلمة تتوقف على خسائر الطوابق وهي تختلف باختلاف أنماط المباني.

ويمكن، حينئذ، حساب العدد الإجمالي للقنوات نصف المزدوجة المطلوبة للمبنى، وهو يساوي:

2 × عدد القنوات لكل خلية × عدد الخلايا لكل طابق × عدد الطوابق الفاصلة

ويلزم هنا، استخدام العامل 2 لبيان عدد القنوات اللازمة للاتصالات في الاتجاهين.

ويمكن، حينذاك، حساب كفاءة الطيف *SUEbuilding*، للنظام الذي يوفر التغطية للمبنى باستخدام المعادلة (5):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *SUEbuilding* = | مجموع الحركة المحمولة في المبنى بأكمله | (6) |
| العدد الإجمالي للقنوات × عرض نطاق القناة × مجموع مساحة الطابق |

مثال:

في هذا النظام المنزلي العامل بتردد MHz 900

عرض نطاق قناة (نصف مزدوجة) kHz 25

عدد القنوات لكل خلية 10

عدد الخلايا لكل طابق 4

عدد الطوابق الفاصلة 3

العدد الإجمالي للقنوات اللازمة 120

وإذا كانت نوعية الخدمة %0,5، فإن الحركة المحمولة على طابق واحد = *Tf* = 16 E أو *Tf* 2، بسبب المحطات القاعدة والمتنقلة معاً.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *SUEbuilding* = | 16 × عدد الطوابق | (7) |
| 120 × 0,025 × مجموع مساحة الطابق |

إذا كان الطابق 25 متراً × 55 متراً، فإن 2km/MHz/3 880 E = *SUEbuilding*.

### 2.1.1 نظام بيكو خلوي يغطي مساحة في وسط المدينة

يمكن، أيضاً بالمثل، حساب عرض النطاق لكامل المساحة في وسط المدينة إذا عرفت المسافة الأفقية لإعادة الاستعمال. وهنا أيضاً تتوقف هذه المعلمة على مواد البناء وخسارة انتشار الإشارة داخل المبنى وخارجه. وتؤثر مسافة إعادة الاستعمال هذه تأثيراً مباشراً على عدد المباني التي يمكن أن توضع في حشد (أو زمرة تداخلات).

وفي هذه الحالة، يساوي مجموع عدد القنوات نصف الزوجية اللازمة في مساحة في وسط المدينة:

2 × عدد القنوات لكل مبنى × عدد المباني في كل حشد

وهنا أيضاًً يكون العامل 2 لازماً لبيان عدد القنوات اللازمة للاتصالات في الاتجاهين.

ويمكن حينذاك حساب كفاءة الطيف، *SUEarea* للنظام الذي يوفر التغطية لكامل المساحة في وسط المدينة، باستخدام المعادلة (5):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | *SUEarea* = | مجموع الحركة في كامل المساحة | (8) |
| العدد الإجمالي للقنوات × عرض نطاق القناة × مجموع مساحة الخدمة |

وهنا مجموع مساحة الخدمة هو مجموع مساحة الطابق في المبنى الذي يغطيه النظام البيكو خلوي.

مثال:

في هذا النظام الداخلي العامل بتردد MHz 900

عدد القنوات لكل مبنى 120

عدد المباني في كل حشد 4

عرض نطاق القناة نصف المزدوجة kHz 25

العدد الإجمالي للقنوات اللازمة 480

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *SUEarea* = | 16 × عدد الطوابق × عدد المباني |  | (9) |
| 120 × 4 × 0,025 × مجموع مساحة الطوابق |

**الملاحظة 1 -** يمكن الاطلاع على معلومات إضافية في:

CHAN, G. and HACHEM, H. [September, 1991] Spectrum efficiency of a pico-cell system in an indoor environment. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Quebec City, Canada.

HATFIELD, D.N. [August, 1977] Measures of spectral efficiency in land mobile radio. *IEEE Trans. Electromag. Compt*., Vol. EMC‑19, **3**, 266-268.

## 2.1 الكفاءة RES للأنظمة الراديوية المتنقلة البرية

لقد تمت مقارنة قيم الكفاءة RSE للأنظمة الراديوية المتنقلة البرية باستخدام الأنماط المختلفة لتشكيل بالنسبة إلى أكثرية الأنظمة الفعالة نظرياً (انظر الفقرة 3 والمعادلة (4) من الملحق 1).

وبهدف التبسيط ومن أجل الحصول على عبارات تحليلية نهائية، تمت الحسابات من أجل أبسط النماذج للشبكة على شكل تشبيك تربيعي وشروط انتشار نمطية من أجل نطاق التردد بالموجات UHF. غير أن القواعد العامة تكون نفسها من أجل النماذج الأكثر تعقيداً للشبكات الحقيقية ذات نماذج انتشار أكثر تعقيداً.

ويتكون نموذج الشبكة من مربعات متساوية الأبعاد ذات محطة مركزية (قاعدة) تكون في وسط المربع (انظر الشكل 1) ويعتبر البعد *r* (نصف قطر) لمنطقة الخدمة بأنه معطى. وفي الميادين التي يكون لها نفس الرقم في الشكل 1، يمكن أن تستخدم نفس المجموعة من قنوات التردد في حال وفرت مسافة الفصل *R* بين هذه الميادين توهين تداخل كافٍ. ولا تكون هوائيات المحطات الأساسية محطات توجيهية في المستوي الأفقي وهي لا تستخدم نمطاً واحداً من الاستقطاب.

وفي هذا النموذج يكون لكل مرسلات المحطات الأساسية نفس القدرة وموجة حاملة ثابتة وهي لا تنتج أي إشعاع هامشي خارج النطاق ويكون لمستقبلات المحطة القاعدة خصائص انتقائية مثالية.

وتقدم في الشكل 2 نتائج حسابات الكفاءة RSE من أجل عدة أنماط خاصة للتشكيل وعدة نسب إشارة إلى الضوضاء عند خرج المستقبِل 0 وتكون الأنماط المأخوذة بعين الاعتبار للتشكيل:

- تشكيل الاتساع – نطاق جانبي وحيد(AM‑SSB) ،

- تشكيل التردد (FM)،

- 4 (8) طور الإبراق (PSK (8) 4)،

- الحالة 16 من تشكيل الاتساع التربيعي (16‑QAM).

الشـكل 1

نموذج الشبكة



كما يوضح في الشكل 2، تكون الكفاءة في الأنظمة المتنقلة البرية للتشكيل FM هي الأقل، نظراً إلى أنه حين يستخدم مثل هذا النمط من التشكيل، يكون عرض النطاق المطلوب من أجل تطوير شبكة ما أكبر خمس مرات منه في حالة النظام MTES. ومن ناحية أخرى، فإن نمط التشكيل الذي يكون أكثر اقتراباً من حالة النظام MTES لكل قيم نسبة حماية الضوضاء هو التشكيل 16‑QAM. ومن أجل إعداد شبكة ملائمة لا بد من 1,5 مرة من عرض النطاق من أجل النظام MTES. وفي حال لم تكن متطلبات نوعية الاستقبال عالية جداً، تكون النوعية الأقرب فيما يتعلق بالنظام MTES تشكيل الاتساع – نطاق جانبي وحيد (AM‑SSB). إلا أن الكفاءة RSE من أجل -تشكيل الاتساع – نطاق جانبي وحيد(AM‑SSB) تنخفض بشكل كبير مع انخفاض متطلبات انخفاض الاستقبال وخاصة إذا أخذ في الاعتبار أثر عدم ثبات التردد في المرسلات الحقيقية.

**الملاحظة 1** – تتوفر معلومات إضافية في الملحق IV من التقرير 662‑3 (دوسلدرف، 1990).

## 3.1 الفعالية SUE للأنظمة المتنقلة البرية الراديوية

من أجل الأنظمة البرية المتنقلة بتغطية عامة يمكن الحصول على الفعالية SUE باستخدام المعادلة (2) بالطريقة التالية.

 (10)

حيث:

*B*: القيمة الإجمالية للطيف المأخوذة في الاعتبار في النطاق المتنقل البري للترددات،

*S*: الميدان قيد الدراسة،

*Occ*: الانشغالية الإجمالية في الميدان

= الانشغالية للإرسال × رقم الإرسالات في الميدان = *M/T.*

وبالتالي فإن المسألة الأساسية تكمن في حساب الانشغالية الإجمالية في هذا الميدان. وتقوم المنهجية المعتمدة على قسمة المنطقة قيد الدراسة إلى عدد من الخلايا تقع فيها المحطات الأساسية. واعتماداً على خصائص إرسال وقدرة المرسل، تغطي الإشارة المرسلة جزءاً من الميدان يكون عدة خلايا في هذه الحالة. وبزيادة الخلايا التي تغطيها هذه الإشارة، يمكن إجراء حساب الانشغالية التي تعود إلى الإرسال. إلا أنه في حال تقاسم عدد من المحطات نفس التردد، تقسم الانشغالية على عدد المحطات التي تتقاسم نفس التردد. وسوف تؤخذ كل المحطات في الاعتبار في العدد الإجمالي للإرسالات.

الشـكل 2

الكفاءات RSE في شبكة ما مع أنماط تشكيل مختلفة



الأمثل

في هذا المثال تمثل المنطقة الجغرافية البالغة km 76 على km 76 حسابياً على أنها مصفوفة قيم خلية. وتعرف كل خلية على أنها منطقة مكونة من km 2 × km 2. وتعتبر الخلية مشغولة في حال شغلت دائرة التغطية التي تحددها *d* (تعرف لاحقاً في الفقرة التالية) أكثر من %10 من منطقة الخلية. ويتم الحصول على الانشغالية الإجمالية للقناة من كل رخصة نشيطة أو محطة في نطاق التردد.

وفي حال كانت *Fn* مجموع انشغالية الخلية من كل المحطات *n* في المنطقة، عندها تبين *Occ* على النحو التالي:

 (11)

حيث تمثل *m* قد المصفوفة.

يعرف مؤشر الكفاءة SUE للخلية بأنه الانشغالية الإجمالية في الخلية من طرف كل المحطات  *n*في تلك المنطقة الجغرافية المقسومة على القيمة الإجمالية للطيف المعني، *B* ومنطقة الخلية، *a*. وعندها يمكن الحصول على معدل الكفاءة SUE لمنطقة جغرافية ما من إجمالي الانشغالية في المدينة مقسوماً على القيمة الإجمالية للطيف المعني وإجمالي المنطقة، *S*.

 (12)

 (13)

### 1.3.1 حساب مؤشر الطيف المشغول والمرفوض

في هذا التحليل يجرى حساب مؤشر الطيف المشغول ومؤشر الطيف المركب المرفوض والمشغول ويزود الأول بقياس كيفية استخدام نطاق ما في حين يعتبر الأخير دلالة لطريقة استعمال الطيف ورفضه للمستعملين الآخرين.

وكما يرد ذلك في الفقرة الأخيرة لدى إجراء حساب المؤشر، فإنه من الضروري أولاً تقييم قيمة مسافة التغطية *d* القائمة على التوصية ITU‑R P.529:

 (14)

حيث:

*Pt* : e.i.r.p. (dBW)

*Gr* :كسب هوائي الاستقبال (dB)

*Pibm* : متوسط القدرة المستقبِلة عند المحطة المتنقلة (dBW)

*OCR*: النبذ خارج القناة

*f* : تردد المرسل (MHz)

*ht* : ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (m)

*hr* : ارتفاع الهوائي المتنقل (m).

يفترض بأن هوائي المحطة القاعدة شامل الاتجاهات وتستخدم كذلك إحداثيات المحطة القاعدة التي تحدد موقع مركز دائرة التغطية لمصفوفة الخلايا.

ومن أجل الحصول على مؤشر الطيف المشغول، تبلغ *Pibm*: *-*dBW 128 وتساوي *OCR* (*f* ) صفراً.

ومن أجل الأنظمة المتنقلة الراديوية البرية لن يركز الاهتمام على المؤشر الطيفي المشغول فحسب وإنما على مؤشر الطيف المرفوض كذلك. وينتج الطيف المرفوض عن حقيقة أن القنوات المتجاورة للترددات المخصصة لا يمكن أن تستعمل ضمن مسافة فصل معينة من محطة قاعدة خاصة بسبب التداخل. وتتوقف المسافة على الفصل بالتردد من بين معلمات أخرى. ومن أجل حساب المسافة للفواصل المتعددة بالتردد، يفترض أن *Pibm* تبلغ dBW 145– كما يجب أن تستخدم عدة قيم من أجل *OCR* (*f* ).

واستناداً إلى قناع الإرسال خارج النطاق تكون القيم المستخدمة من أجل عامل OCR (dB) عند تخالف القناة Δƒ(kHz):

*f* 0 25± 50± 75± 100±

OCR 0 57,1 58,6 58,6 58,6

باستخدام هذه القيم، يمكن الحصول على مسافات تقارن بشروط الانتشار الفعلية من مجموعة واحدة من معطيات عينية وتماشياً وحساب مسافات التغطية، وتبلغ المسافة المغطاة km 21,9. وتكون المسافات المقابلة المرفوضة من أجل Δƒ = 0، kHz 25± وkHz 50± وما يتجاوز km 69,2 وkm 1,5 وkm 1,3 على التوالي.

### 2.3.1 النتائج

من أجل بيان منهجية حساب الكفاءة SUE أعطيت نتيجة المنطقة البالغة 2km 5 776 حول مركز 10 مدن كندية في النطاق MHz 174‑138 ويتضمن الجدول 1 مؤشر الطيف المشغول ومؤشر الطيف المرفوض والمشغول.

ويمكن الحصول على المعطيات لتحديد الانشغالية الإجمالية من قاعدة معطيات الترخيص والتخصيص في كندا.

وتتضمن النطاقات المتنقلة البرية المأخوذة في الاعتبار في هذه الدراسة كل من النطاق MHz 174‑138 بالموجات VHF والنطاق MHz 430‑406 وMHz 470‑450 بالموجات UHF. وتبلغ مباعدة القناة من أجل الموجات VHF kHz 30 وتبلغ kHz 25 من أجل UHF.

الجـدول 1

مؤشرات الطيف المشغول والمرفوض (MHz 174-138)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| E/kHz/km2  10–3 | مؤشر الطيف المشغول/المرفوض | مؤشر الطيف المشغول |
| Toronto | 4,19 | 1,33 |
| Ottawa | 4,54 | 1,30 |
| Windsor | 3,68 | 0,87 |
| Montreal | 3,56 | 0,88 |
| Saint John | 3,24 | 0,65 |
| Halifax | 3,32 | 0,68 |
| Vancouver | 3,20 | 0,62 |
| Winnipeg | 3,31 | 0,74 |
| Calgary | 3,05 | 0,73 |
| Edmonton | 2,99 | 0,60 |

وتمثل كذلك النتائج البيانية الخاصة بمدينة Vancouver في النطاق MHz 174‑138. ويبين الشكل 3 ترئية ثلاثية الأبعاد لمصفوفة قيم الطيف المرفوض والمشغول. وقد عرضت المصفوفة على خريطة للمدينة لتقديم معلومات الاستخدام مع تفاصيل خاصة بالخريطة. وإن هذا التقديم ليدعم بشكل كبير قدرتنا على تفسير هذه المعلومات وكما يبين في الشكل 4 تبلغ القيمة القصوى لخلية من الطيف المشغول في وسط المدينة 1,7×3-10E/kHz/2kmالتي تقع شمال وغرب المركز المتوسط كما يظهر ذلك في الشكل 5. وتمثل هذه المنطقة الوسط التجاري لمدينة Vancouver.

الشـكل 3

التمثيل ثلاثي الأبعاد لمؤشر الطيف المشغول/المرفوض لمدينة Vancouver

استناداً إلى القنوات المتوفرة - MHz 174‑138 :Vancouver



خط الطول: "48°33' 56 ‑ "48°53' 27

خط العرض: "122°28' 09 ‑ "123°30' 58

جنوب

شرق

شمال

غرب

مؤشرات الاستخدام (مؤشر الطيف المرفوض + المشغول)

1046-03

الشـكل 4

التمثيل ببعدين لمؤشر الطيف المشغول في مدينة Vancouver



**Ranges of indices**

**0,00132 a 0,00175 (45)**

**0,00101 a 0,00132 (75)**

**0,00079 a 0,00101 (69)**

**0,00062 a 0,00079 (68)**

**0,00045 a 0,00062 (102)**

**0,00033 a 0,00045 (99)**

**0,00025 a 0,00033 (104)**

**0,00018 a 0,00025 (108)**

**0,00013 a 0,00018 (115)**

**0,00010 a 0,00013 (104)**

**8E –05 a 0,00010 (74)**

**6E –05 a 8E –05 (100)**

**5E –05 a 6E –05 (53)**

**4E –05 a 5E –05 (61)**

**2E –05 a 4E –05 (184)**

**0 a 2E –05 (83)**

**Vancouver  
MHz 174-138**

مؤشر استخدام الطيف (مرفوض + مشغول) قائم على القنوات المتيسرة

خط العرض: °49 ′33 ″56-°48 ′53 ″27

خط الطول: °123 ′30 ″58-°122 ′28 ″09

عدد المحطات القاعدة: 1 800

عدد القنوات المختلفة: 627

الاستخدام المتوسط للتردد: 6,15E-04

الشـكل 5

التمثيل ببعدين لمؤشر الطيف المشغول والمرفوض في مدينة Vancouver



**Vancouver**  
MHz 174-138

مؤشر استخدام الطيف (مرفوض + مشغول) قائم على القنوات المتيسرة

خط العرض: °48 ′53 ″27-°49 ′33 ″56

خط الطول: °122 ′28 ″09-°123 ′30 ″58

عدد المحطات القاعدة: 1 800

عدد القنوات المختلفة: 627

الاستخدام المتوسط للتردد: 3,20E-03

**Ranges of indices**

**0,00355 a 0,00492 (17)**

**0,00297 a 0,00355 (74)**

**0,00261 a 0,00297 (95)**

**0,00229 a 0,00261 (97)**

**0,00202 a 0,00229 (119)**

**0,00182 a 0,00202 (105)**

**0,00166 a 0,00182 (89)**

**0,00153 a 0,00166 (84)**

**0,00141 a 0,00153 (99)**

**0,00131 a 0,00141 (91)**

**0,00122 a 0,00131 (103)**

**0,00113 a 0,00122 (92)**

**0,00104 a 0,00113 (101)**

**0,00094 a 0,00104 (115)**

**0,00080 a 0,00094 (92)**

**0,00054 a 0,00080 (71)**

## 4.1 كفاءة استعمال الطيف في الأنظمة الراديوية المتنقلة الأرضية (طريقة إضافية)

### 1.4.1 مقدمة

لنفترض حالة نظام معياري دقيق للاتصالات الراديوية المتنقلة منتشر في منطقة جغرافية معينة مع عدد *J* من محطات قاعدة تعمل بترددات الخدمة الثابتة. وتعطي عموماً كفاءة استعمال الطيف في المعادلة المركبة التالية:

 (15)

حيث:

*:M* تأثير نافع حاصل باستخدام نظام الاتصالات المعني

:*U* عامل استعمال الطيف في النظام المذكور.

### 2.4.1 تعريف التأثير النافع

يتحدد النفع في نظام اتصالات متنقلة من خلال قدرة مستعمليه في نقطة ما داخل المنطقة الجغرافية المحددة على إرسال المعلومات واستقبالها. ويزداد التأثير النافع بازدياد كمية المعلومات التي يمكن نقلها في زمن معين (أو بازدياد حجم الحركة داخل منطقة الخدمة) أو بازدياد رقعة هذه المنطقة التي يمكن الوصول إليها فعلياً. ويعرَّف التأثير النافع على أفضل وجه باستخدام كميتين هما: الحركة الكليّة الناتجة داخل حدود منطقة الخدمة *E* والحجم النسبي لمنطقة الخدمة المعطى في النسبة *Sr* *=* *Ss*/*S،* حيث *Ss* و *S*هما منطقة خدمة النظام المعني والمساحة الكلية للمنطقة الجغرافية ذات الصلة على التوالي. ويمكن حساب التأثير النافع باستعمال المعادلة التالية:

 (16)

ومن الواضح أنه عندما تكون قيمة *Ss* أقل بكثير من *S* (*Sr* *≈* 0)، يكون النفع في النظام (المتنقل) المعني ضعيف جداً. ولن يكون الفرق شاسعاً بين الخدمات المقدمة باستعمال نظام من هذا القبيل وبين الخدمات التي يقدمها نظام اتصالات ثابت.

وبالإمكان قياس الحركة الكلية المولّدة داخل حدود منطقة الخدمة *E* بفضل الأنظمة الفرعية التي تدير فوترة نظام الاتصالات المتنقلة حيث تحتوي قاعدة المعطيات على تسجيل طويل لساعة بدء الاتصالات وانتهائها. كما يمكن حساب كامل منطقة الخدمة من خلال جمع مناطق خدمة محطات قاعدة نظام الاتصالات المتنقل: *Ss Sj =*∪، حيث *Sj* هي منطقة خدمة محطة القاعدة ذات الترتيب *j*.

وفي بعض الأحيان عندما لا تتوفر المعطيات اللازمة لحساب حجم الحركة المولدة داخل منطقة الخدمة أو عند الرغبة في دراسة الإمكانيات التي يوفرها نظام اتصالات متنقل، يمكن قياس التأثير النافع باستخدام المعادلة (16) والاستعاضة عن المتغير *E* الذي يعادل إجمالي الحركة بعدد المشتركين في النظام المتنقل، *Nr* *=* *Na*/*N*، حيث *Na* و *N*هما على التوالي عدد المشتركين وعدد سكان المنطقة الجغرافية المعنية. وتكون عندئذ المعادلة التي تتيح حساب التأثير النافع على النحو التالي:

 (17)

ولهذا الدليل تفسير عملي حسي. فهو يعني في بعض الحالات احتمال أن أحد قاطني المنطقة الجغرافية المعنية الموجود في نقطة لا على التعيين في هذه المنطقة – قادر على استعمال الخدمات التي يوفرها نظام الاتصالات المتنقلة. كما يبين أيضاً الدرجة التي وصل إليها نظام الاتصالات المتنقلة في تحقيق أهدافه: علماً بأن قيمة الدليل تساوي 1 عندما يتوفر وصول جميع سكان المنطقة (*Na = N*) إلى الخدمة في مجمل المنطقة (*Ss = S*): ويبلغ التأثير النافع قيمته القصوى وهي واحد (*M*= 1).

### 3.4.1 تعريف عامل استعمال الطيف

يتحدد هذا العامل بدراسة التقييدات التي تفرضها المحطات الراديوية الحالية بشأن استعمال الطيف على المحطات الجديدة. ففي حالة محطة قاعدة تقع في المنطقة الجغرافية *I* من المنطقة. قد تكوّن هذه التقييدات العدد الإجمالي *Ki* من نطاقات الترددات المرفوضة بسبب عدم تقييدها بالمواءمة الكهرمغنطيسية.

وقد تعادل أيضاً النسبة ، حيث *K* هو العدد الإجمالي لنطاقات الترددات التي يسمح لأنظمة الاتصالات المتنقلة من النوع المعني باستعمالها. ويعتبر أن شروط المواءمة الكهرمغنطيسية غير مستوفاة في تردد ما إذا كان المرسل في محطة قاعدة واحدة أو أكثر (من إجمالي *J* محطة قاعدة) يسبب تداخلات غير مقبولة في مستقبِل محطة متنقلة متصلة بالمحطة القاعدة الجديدة، أو إذا كان مرسل المحطة القاعدة الجديدة يسبب تداخلات غير مقبولة في مستقبل متصل مع إحدى المحطات القاعدة الموجودة مسبقاً.

والشروط التي تحدد إمكانية رفض فاصل الترددات في الاتجاه محطة متنقلة - محطة قاعدة لا تتغير. وبما أن التقييدات تتوقف على موقع المحطة القاعدة الجديدة المفترضة، فإنه يصدر عدة نتائج يمكن تبسيطها بأخذ التقييدات الحاصلة في أجزاء مختلفة من المنطقة المعنية وإجراء الحساب الملائم. وينطوي الحل الأفضل على حساب المتوسط المرجح مع نسبة عدد السكان في كل جزء من المنطقة كعامل ترجيح. وهكذا تتم مراعاة أعلى قيمة لاستخدام الطيف في المناطق المكتظة بالسكان. ويمكن بالتالي حساب عامل استعمال الطيف باستخدام المعادلة التالية:

 (18)

حيث:

:*I* عدد أجزاء المنطقة الجغرافية

: نسبة مجمل عدد السكان في الجزء رقم *i*

:*ni* عدد السكان المقيمين في الجزء رقم *i*

:*Ui* نسبة نطاقات التردد التي قد ترفض لمحطة قاعدة واقعة في مركز الجزء *i* من المنطقة بسبب عدم المواءمة الكهرمغنطيسية.

### 4.4.1 حساب كفاءة استعمال الطيف

يوصى من أجل تقييم كفاءة استعمال الطيف في أنظمة اتصالات متنقلة مع مباعدة الترددات باتباع الخطوات التالية:

- تجزئة المنطقة الجغرافية إلى أقسام يتراوح طول ضلعها بين 1 وkm 4.

- حساب أنصاف الأقطار (*Rj*) مناطق الخدمة الخاصة بالمحطات القاعدة القائمة في نظام الاتصالات المتنقلة *Rj*.

- حساب المسافة (*Rij*) الفاصلة بين مركز كل قسم من أقسام المنطقة *i* ومواقع محطات القاعدة القائمة.

- تحديد ما إذا كان كل قسم من المنطقة يرتبط بمنطقة الخدمة العائدة لمحطة قاعدة واحدة أو أكثر، وذلك بمقارنة *Rj* و*Rij*.

- حساب أبعاد منطقة خدمة نظام الاتصالات المتنقلة المعني بجمع أقسام المنطقة المرتبطة بمنطقة خدمة محطة قاعدة واحدة أو أكثر.

- حساب دليل التأثير النافع بالمعادلة (16) أو (17).

- حساب α*i* small وهي نسبة كامل عدد السكان المقيمين داخل قسم ما من أقسام المنطقة.

- حساب نصف قطر منطقة الخدمة في محطة قاعدة جديدة واقعة وسط كل قسم من أقسام المنطقة.

- حساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء في مدخل مستقبل المحطات المتنقلة أثناء الاتصالات مع المحطات القاعدة القائمة والمحطة القاعدة الجديدة. وذلك مع افتراض أن هذه الأخيرة واقعة في وسط القسم *i*.

- تحديد نطاقات الترددات التي قد ترفضها المحطة القاعدة الجديدة الواقعة في وسط القسم *i*.

- تحديد علاقة عامة استناداً إلى نتائج تقييم استعمال الطيف لكل قسم من أقسام المنطقة وحساب عامل استعمال الطيف باستعمال المعادلة (18).

# 2 استخدام أنظمة الترحيل الراديوي للطيف

## 1.2 مقدمة

بالنسبة لأنظمة الترحيل الراديوي العاملة بصفة مستمرة، يمكن صرف النظر عن عنصر الوقت. وبالرجوع إلى المعادلة (2) يمكن كتابة كفاءة استخدام الطيف كما يلي:

 (19)

حيث:

*C*: قياس مقدرة الاتصال، وعلى سبيل المثال، القنوات الهاتفية أو bit/s

*S*α: القياس الهندسي، على سبيل المثال، للمساحة أو الزاوية بين الوصلات الفرعية عند عقدة.

## 2.2 كفاءة استخدام الطيف لشريان طويل ذي وصلات متفرعة عند العقد

تعرف مقدرة الاتصال المقيسة التي تعطي كفاءة استخدام الطيف (SUE) لنظام الترحيل الراديوي الأرضي المباشر  بأنها:

 (20)

حيث:

*N:* العدد المسموح من الوصلات المتفرعة (أي طرائق تسيير راديوي في اتجاهين) لمحطة مكررة واحدة

*A:* مقدرة الإرسال (مثل عدد القنوات الهاتفية) لكل قناة راديوية

*Bc:* عرض نطاق التردد الراديوي (RF) لكل قناة راديوية.

وتشمل هذه الصيغة القياس الهندسي *N* (تعتمد *N* على الزاوية المسموحة بين وصلات التفريع).

وقد حسبت كفاءة استخدام الطيف في نظام أرض للترحيل الراديوي المباشر، بالنسبة للإرسال الهاتفي باستخدام الصيغة المذكورة أعلاه.

والافتراضات المستخدمة هي:

- أن الإشارة الهاتفية ترسل؛

- احتمال الخبو هو نفسه الاحتمال الوارد في التوصية ITU‑R P.530؛

- طول الدارة هو km 2 500؛ ونموذج الدارة كالمبين في الشكل 6؛

الشـكل 6

نموذج الدارة



- نسبة الموجة الحاملة إلى الضوضاء (*C/N*) المطلوبة كما يلي:

                dB (21)

حيث *n* هي QAM *n*-state؛

- عُشر ضوضاء الدارة الكلية للترحيل الراديوي للدارة km 2 500 يخصص باعتباره ضوضاء التداخل من طرائق تسيير أخرى؛

- للتداخل من طرائق التسيير الأخرى نفس تردد الإشارة المطلوبة؛

- استخدام مخطط هوائي مرجعي لهوائي دائري في التوصية ITU‑R F.699 وهوائي ثلاثي العكس للتعويض المزدوج مستخدم في اليابان لراديو الموجات الصغرية الرقمية، على النحو المبين في الشكل 7؛

- وصلات بزوايا تفريع عشوائية.

الشـكل 7

مخطط الهوائيات



الكسب النسبي (dB)

الزاوية (بالدرجات)

المخطط التمهيدي المرجعي ITU-R

مخطط هوائي التعويض ثلاثي العكس

وقد حسبت مقدرات الاتصال المقيسة لهذين النمطين من الهوائيات وترد في الشكل 8. وأداء الهوائي الدائري في التوصية ITU‑R F.699 لا يكفي لتقدير كفاءة استخدام الطيف في أنظمة التشكيل عالية السوية. وبما أن النتائج تعتمد على أداء الهوائيات فأي هوائي عالي الأداء يمكن استخدامه يكون التشكيل الفعال هو الأعلى أداءً كالتشكيل 256‑QAM.

## 3.2 كفاءة استخدام الطيف في وصلات الترحيل الراديوي عشوائي الرتبة

### 1.3.2 التكوين

يبين الشكل 9 وصلة ترحيل راديوي Y ‑ X مع محطة راديوية أخرى Z تشغل على نفس التردد. والمحطة Z موضوعة عشوائياً في دائرة حول المحطة Y.

والمحطة Y تستقبل إشارة تردد مرغوبة *f*1 من المحطة X. والمحطة Z ترسل إشارة بنفس التردد *f*1 في اتجاه اعتباطي.

الشـكل 8

مقدرة الاتصال المقيسة



نوع التشكيل

هامش الخبو: dB 20

مباعدة المكرِّر: km 50

سعة القناة: kbit/s 64

التخصيص للضوضاء الفرعية: %10

*p*: احتمال التداخل

A: مخطط التردد التمهيدي ITU-R

B: مخطط هوائي التعويض ثلاثي العكس

مقدرة الاتصال المقيسة (bit/(s . Hz))

الشـكل 9

التصميم العشوائي



محطة:

ومقدرة الاتصال المقيسة التي تعطي كفاءة استخدام الطيف تعرف كما يلي:

 (22)

حيث:

*N*: عدد الوصلات الراديوية التي يحتمل أن تستخدم نفس التردد: ≈ *N*

*A*: مقدرة الإرسال لكل قناة راديوية.

والاحتمال *p* بأن تستقبل المحطة Y تداخلاً يتجاوز الحد المسموح يحسب باعتبار أن جمع مخطط هوائي المحطات Y وZ و هو أقصى احتمال مسموح للتداخل.

ونظراً لإهمال تجميع التداخل من محطتين أو أكثر، فينبغي النص على هامش في أي تطبيق فعلي.

### 2.3.2 التطبيق: كفاءة الطيف في أنظمة الترحيل الراديوي في النطاق GHz 2

كفاءة استخدام الطيف لجميع أنظمة الترحيل الراديوي الأرضي المباشر ذات المقدرة الصغيرة والعاملة في النطاق GHz 2 حسبت بالنسبة للإرسال الهاتفي باستخدام الصيغة المذكورة أعلاه.

وحسبت كفاءة استخدام الطيف النسبية للهوائيات بقطر 1,8 m، باستخدام نسبة التداخل المسموحة والكفاءة المناظرة لكل نمط تشكيل في الجدول 2. والنتائج مبينة في الشكل 10.

ويتفوق النظام الرقمي على النظام التماثلي لهوامش الخبو الأصغر. وفي هذه الدراسة، اتضح أن التوهين الناجم عن الخبو هو نفسه الانحطاط في نسبة سوية الإشارة المطلوبة إلى نسبة سوية الإشارة غير المطلوبة (*W/U*) التي يسببها التداخل. فإذا استخدمت تقنيات تنوع الفضاء كان هامش الخبو اللازم أقل. وبصفة عامة فالأنظمة الرقمية تميل إلى إعطاء كفاءة استخدام طيف أعلى.

وبالنسبة للتشكيل الرقمي، يتطلب التغيير من ثنائي الطور إلى متعدد الطور أو متعدد الحالات عرض نطاق أقل ولكن قد يكون له كفاءة استخدام طيف أدنى عندما يكون التداخل عالياً. وتتوقف القيمة الدقيقة على خصائص الهوائي وغيرها؛ أما نظام PSK ذو الأطوار الأربعة فقد يكون الأمثل من الناحية المجهرية في الحالات التي تكون فيها وصلات راديوية أخرى عاملة حول محطة المكرر في مواقع عشوائية في منطقة ما.

الجـدول 2

معلمات أنماط تشكيل مختلفة في النطاق GHz 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نمط التشكيل | | *S/N* أو نسبة الخطأ المسموحة | عامل تقليل التداخل (IRF) | | نسبة الإشارة المطلوبة إلى الإشارة غير المطلوبة (*W*/*U*) المسموحة | المعلمات المتصلة ﺑ *B* | | المباعدة إلى القنوات المجاورة *B* | عدد القنوات *A* | *A/B* (1) (قنوات/(kHz |
|  | MF | 58 dB | 20 dB | | 38 dB | انحراف التردد لنغمة الاختبار kHz 100 r.m.s. | | 520 kHz | 24 | 0,046 |
| إرسال تماثلي | SSB | 58 dB | 9,5 dB | | 48,5 dB | أعلى تردد في النطاق الأساسي: kHz 108 معامل المرشاح: 2 × سماح التردد: kHz 20 | | 236 kHz | 24 | 0,112 |
|  |  |  | *(C/N)* | (الانحطاط) |  | تردد الساعة | معامل المرشاح |  |  |  |
|  | 2-phase PSK | 10–6 | 10,7 dB | 5,5 dB | 16,2 dB | 1 544 kHz |  1,3 | 2,7 MHz | 24 | 0,012 |
| إرسال | 4-phase PSK | 10–6 | 13,7 dB | 5,5 dB | 19,2 dB | 772 kHz |  1,4 | 1,1 MHz | 24 | 0,022 |
| رقمي | 8-phase PSK | 10–6 | 19,1 dB | 5,5 dB | 24,6 dB | 515 kHz |  1,5 | 0,77 MHz | 24 | 0,031 |
|  | QPRS | 10–6 | 16,8 dB | 5,5 dB | 22,3 dB | 722 kHz |  1,1 | 0,85 MHz | 24 | 0,028 |
|  | 16-QAM | 10–6 | 21,4 dB | 5,5 dB | 26,9 dB | 386 kHz |  1,6 | 0,62 MHz | 24 | 0,039 |

(1) الكفاءة الصحيحة لكل نمط تشكيل.

QPRS: تشكيل استجابة جزئية تربيعية.

*الافتراضات المستخدمة هي:*

- التداخل المقبول وكفاءة الطيف لكل نمط تشكيل كما هما في الجدول 1. ويخصص %80 من إجمالي ضوضاء الدارة للتداخل؛

- يفترض أن المسافات بين المحطة المعرضة للتداخل (المحطة (Y والمحطات المتداخلة واحدة؛ ويعتبر أن هذا الافتراض ينتج خطأ طفيفاً في حساب الكفاءة، لأن خسائر المسافات الحرة للوصلتين تختلف بمقدار dB 6 فقط، حتى وإن اختلفتا في الطول بعامل اثنين؛

- يفترض عدم وجود ارتباط بين الخبو في الإشارة المطلوبة وفي الإشارة المتداخلة؛

- مخطط إشعاع الهوائي هو الرسم البياني المرجعي في التوصية ITU-R F.699؛

- لجميع المحطات نفس قدرة خرج الإرسال؛

- حد احتمال التداخل، = 0,1.

الشـكل 10

كفاءة استخدام الطيف في التصميم العشوائي



هامش الخبو (dB)

الكفاءة النسبية لاستخدام الطيف

نطاق التردد: GHz 2  
السعة : 24 قناة

أربعة أطوار - إبراق بزحزحة الطور) 4-PSK

8-PSK

2-PSK

(تشكيل استجابة جزئية تربيعية) QPRS

(تشكيل مدى تربيعي من أجل 16 حالة) 16-QAM

المنحنيان A: SSB (تشكيل بالاتساع وحيد النطاق الجانبي)

B: FM (تشكيل التردد)

### 3.3.2 كفاءة استخدام الطيف في شبكة عشوائية

لإجراء مقارنة عادلة لتقنيات التشكيل، يستطيع المرء أن يفترض وجود خطة ترددية مشذرة بمباعدة قنوات مناظرة لانحطاط أداء معلوم ناتج عن تداخلات قنوات مجاورة. ويبين الجدول 3 قيماً تقريبية لمساعدة القنوات المقيسة *X* المعرفة في تقرير اللجنة الدولية الخاصة المعنية بالتداخلات الراديوية ex‑CCIR Report 608 (كيوتو، (1978 وكفاءة الطيف المناظرة بالبتات في الثانية bit/(s . Hz). وحتى إن اختلفت النتائج الممكنة الاستقاء، على أساس افتراضات أخرى، فينبغي ملاحظة أن النتائج المحسوبة في الجدول 3 تقترب من القيم التي يمكن استقاؤها من ترتيبات قنوات محددة كما اقترحته توصيات قطاع الاتصالات ITU‑R (ومنها مثلاً Mbit/s 140 بتشكيل 16‑QAM ومباعدة قنوات MHz 40 بين قنوات باستقطاب متقاطع.) وقد تختلف القيم المقيسة عن القيم المحسوبة.

الجـدول 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| طريقة التشكيل | مباعدة القنوات المقيسة X | كفاءة الطيف (bit/(s . Hz)) |
| 4-PSK | 1,88 | 2,13 |
| 8-PSK | 2,16 | 2,77 |
| 16-QAM | 2,23 | 3,59 |

**الملاحظة 1** - الانحطاط بسبب تداخل القنوات المجاورة:  dB 0,5.

- مراشيح القنوات: عطوف لجيب التمام المرفوع 0,5.

- فك الاقتران بين القنوات المتعارضة الاستقطاب (الباقي (XPD: dB 12.

ومخطط إشعاع الهوائي المستخدم في التحليل مبين في الشكل 11؛ وهو لهوائي مكافئ نمطي. وقد افترض أن انحطاط الأداء (ونسبة الخطأ في البتات (3−10 الراجع إلى تداخل القنوات المشتركة من وصلات أخرى لا يزيد على dB 1. ومن المفترض أن الوصلة المتداخلة معها عند العتبة مع هامش خبو يبلغ dB 40 بينما الوصلة المسببة للتداخل تأخذ قيمتها الاسمية.

الشـكل 11

أقنعة إشعاع الهوائيات



الزاوية من المحور (درجات)

الهوائي المكافئ، 75 = D/λ

استقطاب مشترك  
استقطاب متعارض

فك الاقتران الزاوي (dB)

وعرفت كثافة الشبكة المقيسة γ كما يلي:

 (23)

حيث:

*N*: عدد العقد الراديوية في الشبكة

: متوسط مربع طول القفزة.

ويتبين من نتائج الشكل 12 أن أعلى كفاءة في الشبكات عالية الكثافة تتحقق بالتشكيل 4‑PSK. غير أن طريقة التشكيل تتحرك لجانب 8‑PSK أو حتى 16‑QAM حيث تكون كثافة الشبكة أقل من ذلك. ويوضح هذا أن كفاءة استخدام الطيف في طرق التشكيل تتوقف على بيئة التداخل.

الشـكل 12

كفاءة الطيف في الشبكات المتشابكة



طرائق التشكيل

(bit/(s - Hz)) كفاءة الطيف المقيسة

قناع إشعاع الهوائي الوارد في الشكل 11.

انحطاط الأداء بسبب إعادة استخدام التردد: dB 1

**الملاحظة 1**- يمكن الاطلاع على معلومات إضافية في:

DODO, J., KUREMATSU, H. and NAKAZAWA, I. [8-12 June, 1980] Spectrum use efficiency and small capacity digital radio-relay system in the 2 GHz band. IEEE International Conference on Communications (ICC ’80), Seattle, WA, United States of America.

TILLOTSON, L.C. *et al*. [1973] Efficient use of the radio spectrum and bandwidth expansion. *Proc. IEEE*, 61, **4**.

## 4.2 تقييم خصائص الحفاظ على الطيف للتقنية الجديدة من أجل أنظمة المرحل الراديوي الرقمية

### 1.4.2 المقدمة

لقد تم تصميم نموذج حاسوبي من أجل تقييم خصائص الحفاظ على الطيف لمختلف عوامل التصميم أو الخيارات التكنولوجية. ويجب أن تقيم الفعالية SUE النسبية ممكنة التحقيق على نحو كمي. ويمكن تمديد مفهوم الفعالية SUE وأن يعرف كما يلي:

*SUE*  *VC*/(*T* · *A* · *B*) (24)

حيث:

*VC*:عدد القنوات الصوتية

*T*: النسبة الزمنية التي يستخدم النظام خلالها (التي يحدد بأنها تساوي صفراً في هذا التحليل)

*A*: منطقة الرفض (km2)

*B*: عرض النطاق المشغول (MHz).

لقد وقع الاختيار على المعادلة (24) لأنها تأخذ في الاعتبار (منطقة) الرفض الطيفي والمكاني على حد سواء لدى تقييم خصائص المحافظة على الطيف في نظام ما. وتمثل منطقة الرفض المنطقة التي لا يمكن أن يشغل فيها نظام آخر دون أن يلحق ضرراً بأداء النظام إلى سوية تكون أدنى من معايير أداء محددة. وتكون منطقة الرفض وظيفة من خصائص مخطط هوائي النظام. وقدرة خرج المرسل وسوية عتبة تداخل المستقبِل.

وتتضمن الخوارزمية المستخدمة من أجل حساب منطقة الرفض تقطيع (تكمية) مخطط كسب هوائي الإرسال إلى عدد من القطع والمقاطع الزاوية التي تمثل بدقة مخطط الهوائي. وإن مخطط كسب هوائي الإرسال هو دخل النموذج الذي يجري حساب منطقة الرفض عند طريق إضافة المساحة في كل قطعة. ورياضياً، تكون كل قطعة مقطعاً زاوياً يمكن إجراء حساب مساحته بواسطة المعادلة التالية :

منطقة المقطع الزاوي   *R*2  / 360 (25)

حيث:

*R*: نصف قطر المقطع (R1, R2, ….Rn)

θ: الزاوية الدوامية للمقطع (θ1, θ2, ….θn)

*n*: عدد المقاطع الزاوية.

إن أنصاف القطر من أجل *Rn* لكل مقطع قد حسبت باستخدام العلاقة التالية:

*L*(*R*)  *Pt*  *Gt*(*n*)  *Gr* – *Imax* (26)

حيث:

*L(R)*: خسارة الانتشار المطلوبة (dB)

*Pt*:قدرة خرج الإرسال (dBm)

*Gt(n)*: كسب هوائي الإرسال من أجل القطاع (dBi) *n*

*Gr*: كسب هوائي الاستقبال يبلغ dBi 10–

*Imax*: سوية التداخل القصوى المسوح بها (dBm).

وباستخدام نموذج انتشار بقانون مائل، تحدد المسافة *R* التي تقابل المسافة المطلوبة وذلك يسهل تقييم منطقة الرفض لكل قطاع زاوي (انظر المعادلة ((25).

ومن أجل تطبيق المعادلة (24) على أنظمة المرحل الراديوي من نقطة إلى نقطة، يكون من الضروري وضع خصائص لنظام مرجعي بين مواقع الموجات الصغرية. وتتضمن هذه الخصائص طول المسير وتوهين المسير وكسب الهوائي وخسارات الإدخال وهامش الخبو وكسب النظام. ومن الضروري كذلك وضع بعض خصائص التشكيل من أجل أنماط التشكيل التي تم النظر فيها. وإن التشكيلات الرقمية التي تم النظر فيها في هذه الدراسة هي 16‑QAM و64‑QAM و256‑QAM. وإن الخصائص المفترضة من أجل أنظمة المرحل الراديوي لهذا التحليل تقوم على معيار أمريكا الشمالية وتكون على النحو التالي:

معلمات نظام المرحل الراديوي الرقمي (انظر الملاحظة 1):

- القنوات الصوتية: 1 344 من أجل 16-QAM

2 016 من أجل 64-QAM

2 688 من اجل 256-QAM

- معدل البتات: Mbit/s 90 من أجل 16-QAM

Mbit/s 135 من أجل 64-QAM

Mbit/s 180 من أجل 256-QAM

- BER: 6-10 × 1

- رقم ضوضاء المستقبِل، *F*: dB 4

- كسب النظام، *Gs:* dB 103

لقد استخدمت في التحليل فعالية الإرسال النظرية وسويات نسبة الموجة الحاملة/الضوضاء عند دخل الاستقبال (*C/N*) من أجل مختلف أنماط التشكيل لضمان مقارنة عادلة.

ويمثل ما يلي مناقشة بشأن تطبيق المعادلة (24) في ميادين تصميم الهوائي الأساسية وأنماط التشكيل ومعالجة الإشارة.

**الملاحظة 1 -** لقد وقع الاختيار على معلمات النظام في هذا التحليل لتوفير دلالة عن تحليل المسير الوحيد لفعالية الطيف من أجل الحالات المختلفة التي تؤخذ في الاعتبار. وبحد ذاتها لا يمكن أن تكون المعلمات ممثلة للأنظمة القابلة للتحقيق وخاصة تلك التي تستخدم مخططات تشكيل من المستوى الأعلى. وتمثل النتائج بالتالي تطبيقاً لمفهوم فعالية الطيف على أنظمة المرحل الراديوي ويجب على الإدارات أن تستخدم معلمات تمثيلية في أي تحليل بشأن فعالية الطيف.

### 2.4.2 الهوائيات

إن الرفض المكاني هو عامل أساسي لدى النظر في الحفاظ على الطيف. ومن بين مكونات الاتصالات الراديوية الأساسية التي تساهم في الرفض المكاني نجد الهوائي. وفي السنوات الأخيرة وفر التقدم الكبير الذي أحرز في ميادين تصميم الهوائيات لتمييز الاستقطاب وتخفيض الفص الجانبي القدرة للفعالية المعززة للطيف في الاتصالات الراديوية للموجات الصغرية من نقطة إلى نقطة.

ويمكن أن يتم تحقيق إعادة استعمال التردد بواسطة تنفيذ تقنيات للحفاظ على الطيف عند تصميم الهوائي ويمكن أن يقلل من الرفض المكاني إلى أدنى درجة في حال تم تخفيض سويات الفص الجانبي إلى أدنى درجة كذلك. إن مخططات إشعاع الهوائي وبالتالي توزيعات الفص الجانبي تتغير بتغير نمط الهوائي. وتستخدم عادة ثلاثة أنماط من الهوائيات في إرسال الموجات الصغرية من نقطة إلى نقطة وهي:

- النمط المكافئ المعياري (STD)

- النمط المكافئ الكوفي (SHD)

- النمط العاكس البوقي المخروطي (CHR).

تبين في الشكل 13 مخططات الإشعاع النمطية لهذه الهوائيات مع كسب يبلغ dBi 43. وقد استخدمت في هذا النموذج خصائص مخطط الهوائي المبينة في الشكل 13.

ويبين في الشكل 14 منحنى بقدرة خرج المرسل بالنسبة إلى منطقة الخرج لعتبة تداخل المستقبِل البالغة –dBm 102,5 من أجل الأنماط الثلاثة من الهوائيات.وعلى الرغم من أن كسب الحزمة الرئيسية لكل الهوائيات هو نفسه، فإن النتائج المبينة في الشكل 14 تشير إلى أنه لهوائي العاكس CHR منطقة رفض تكون أقل من الهوائيين الآخرين وكذلك الفرق في منطقة الرفض للهوائيات الثلاثة يكون أصغر لغاية أن تزيد قدرة المرسل عن dBm 30. وهو أمر سهل فهمه لأن المساهمة في منطقة الرفض الذي تسببه خصائص هوائي الفص الجانبي/الفص الخلفي تكون أصغر لغاية أن تزيد قدرة المرسل عن dBm 30. وإذا كانت قدرات المرسل أعلى من dBm 30، يكون الفرق كبيراً للهوائيات الثلاثة. وتتعلق منطقة الرفض كذلك بعتبة تداخل المستقبِل.

الشـكل 13

مخططات الإشعاع النمطية من أجل هوائيات STDوSHD وCHR



السمت للفص الأساسي (بالدرجات)

كسب الهوائي بالنسبة إلى الحزمة الأساسية (dB)

الهوائي CHR

الهوائي SHD

الهوائي STD

تغير المقياس

الشـكل 14

المنطقة المرفوضة بالنسبة إلى نمط الهوائي وقدرة خرج المرسل



الحسابات القائمة على ارتفاع هوائي الإرسال والاستقبال البالغ m 50 فوق أرض منبسطة

*Imax*=dBm 102,5–

*Gt* (الحزمة الرئيسية) = dBi 43

*Gr* = dBi 10–

المنطقة المرفوضة (km2)

قوة الإرسال (dBm)

بما أن المنطقة المرفوضة للهوائيات الثلاثة تتعلق بكل من *Pt* و*Imax* يجب أن تتعلق خصائص الحفاظ على الطيف من أجل الهوائيات الثلاثة بنمط تشكيل النظام. ومن هنا فسوف تتم مناقشة خصائص تدعيم فعالية الطيف من أجل الهوائيات STD وSHD وCHR في فقرة التشكيل.

### 3.4.2 التشكيل

إن تقييم خصائص الحفاظ على الطيف من أجل خطط التشكيل المختلفة معقد جداً وذلك بسبب تأثر كل من الرفض الطيفي والمكاني بخيار نمط التشكيل المستخدم في النظام. وعموماً فإن معلمات النظام مثل عرض النطاق المشغول والنسبة (*C/N*)*i* المطلوبة لخرج المستقبِل و *Imax*تتعلق بنمط التشكيل وتؤثر تأثيراً مباشراً على استخدام الطيف.

ويقوم هذا التحليل على النسبة (*C/N*)*i* لفعالية الإرسال *النظرية* والمستقبِل لمختلف أنماط التشكيل لضمان مقارنة دقيقة. ولتقييم خصائص الحفاظ على الطيف لمختلف أنماط التشكيل، تم تحديد عرض النطاق المشغول *B* و*Pt* المطلوبة لكل منها*.* وتبين هذه المعلمات في الجدول 4.

الجـدول 4

معلمات النظام الرقمي

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| نمط التشكيل | فعالية الإرسال (bit/(s · Hz)) | عرض النطاق المشغول، *B* (MHz) | النسبة المطلوبة (*C*/*N*)*i* للموجة الحاملة إلى الضوضاء للخرج (dB) | سوية الضوضاء (dBm) | سوية الموجة الحاملة الدنيا (dBm) | سوية قدرة خرج المرسل، *Pt* (dBm) |
| 16-QAM | 4 | 22,5 | 21,0 | 96,5– | 75,5– | 27,5 |
| 64-QAM | 6 | 22,5 | 27,0 | 96,5– | 69,5– | 33,5 |
| 256-QAM | 8 | 22,5 | 33,0 | 96,5– | 63,4– | 39,5 |

إن عرض النطاق المشغول *B* من أجل التشكيلات الرقمية قد حدد باستخدام العلاقة التالية:

*B* (MHz))  معدل البتات(Mbit/s) /فعالية الإرسال ((bit/(s · Hz) (27)

حيث يكون كل معدل البتات (انظر معلمات النظام الرقمي) وفعالية الإرسال (انظر الجدول 4) متعلق بنمط التشكيل.

ولوضع *Pt* المطلوبة من أجل كل نمط تشكيل، فد تم تحديد معايير الأداء المحددة للنسبة (*C/N*)*I* المطلوبة وقد استخدم معدل BER يبلغ 6-10 × 1 على أنه معيار الأداء وقد تم التوصل إلى النسبة (*C/N*)*I* النظرية المطلوبة من الكتب المتخصصة.

لقد تم تحديد سوية ضوضاء دخل المستقبِل  *Ni* في الجدول 4 )-(dBm 96,5 باستخدام عرض نطاق مستقبل يبلغ MHz 22,5 وضوضاء مستقبل تبلغ dB 4. إن سوية الموجة الحاملة الدنيا المطلوبة  (*Cmin*)عند المستقبِل قد حددت بعد ذلك من العلاقة التالية:

*Cmin* (dBm)  (*C*/*N*)*i*  *Ni* (28)

إن سوية قدرة المرسل المطلوبة *Pt* المبينة في الجدول 4 قد حددت باستخدام العبارة التالية:

*Pt* (dBm)  *Cmin*  *Gs* (29)

حيث *Gs* تمثل كسب النظام الذي ضبط كي يساوي dB 103.

إن المنطقة المرفوضة تتعلق كذلك بمستوى المستقبِل المتعرض للتداخل *Imax* ولقد تم تحديدالمستوى *Imax* للمستقبل المصاحب لكلتشكيل بافتراض أن المستقبِل المتعرض للتداخل يتمتع بنفس نمط التشكيل مثل المرسل المتداخل وفي هذا التحليل، تم تحديد المستوى *Imax* باستخدام المعايير التي وضعتها جمعية صناعة الاتصالات (TIA) في النشر رقم 10‑E الخاص بنظام الاتصالات. ومن أجل الأنظمة الرقمية، كانت معايير الأداء زيادة المعدل BER من 6-10 × 1 إلى 5-10 × 1 مما يقابل زيادة تبلغ dB 1 في سوية ضوضاء المستقبِل. وهذا ما يقابل نسبة *(I/N)i* للتداخل/الضوضاء لخرج المستقبِل =  dB 6–(أي *Imax* = dB 6 – dBm 96,5– = dBm 102,5– من أجل 16-QAM و64-QAM و256-QAM).

يحتوي الجدول 5 على القيم SUE التي أجري حسابها باستخدام قدرة خرج المرسل وعرض النطاق في الجدول 1 و*Imax*= dBm 102,5– وتكون المداخل من أجل SUE في الجدول 5 لأنماط التشكيل الثلاثة المختلفة وللهوائيات الثلاثة. وتكون الأنظمة ذات الفعالية SUE الأعلى أكثر فعالية من وجهة نظر استخدام الطيف. ويجب التشديد على أن القيم التي تم حسابها تشير بشكل واضح إلى أن الفعالية SUE تتغير بشكل كبير من نمط هوائي إلى آخر. وعلى سبيل المثال، فإن الفعالية من أجل 64-QAM تكون 0,201 من أجل هوائي STD إذا تمت مقارنتها بالقيمتين 0,212 و0,811 من أجل الهوائيين SHD وCHR على التوالي. وبالتالي، فإن النتائج المبينة في الشكل 5 تشير بشكل واضح إلى إمكانية استمثال الفعالية SUE حين يؤخذ في الاعتبار كل من آثار وتشكيل الهوائي.

الجـدول 5

فعالية استخدام الطيف

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| الترتيب | الفعالية SUE من أجل عدة أنماط من الهوائيات | | |
| STD | SHD | CHR |
| 1 | 16-QAM (0,307) | 16-QAM (0,282) | 256-QAM (0,841) |
| 2 | 64-QAM (0,201) | 64-QAM (0,212) | 64-QAM (0,811) |
| 3 | 256-QAM (0,112) | 256-QAM (0,144) | 16-QAM (0,709) |

وكذلك تبين نتائج التحليل أن الفعالية SUE من أجل 64‑QAM تكون أعلى من النتائج التي تخص 256‑QAM من أجل الهوائيات STD وSHD ولكن ليس من أجل CHR. ويساعد الجدول 6 في تقديم تفسير بشأن سبب زيادة فعالية طيف 64‑QAM على 256-QAM‑256 من أجل هوائي SHD عالي الأداء. وتوفر معلمات الدخل من أجل هذا النموذج في الجدول. ويبلغ عدد القنوات التقديرية 2 016 VC من أجل 64‑QAM و2 688 من أجل 256‑QAM. ويكون عرض نطاق النظام المطلوب *B* هو نفسه من أجل كل من 64 و256‑QAM (22,5 = *B*). إلا أن *Pt* المطلوبةمن أجل 256‑QAM تكون أكبر بكثير من 64-QAM (dBm 9,6 إذا ما قورنت بقيمة dBm 33,5). وبما أن لقدرة المرسل أثر كبير على المنطقة المرفوضة لمستعمل آخر، (انظر الشكل 14)، تكون المنطقة المرفوضة من أجل 256‑QAM أكبر بكثير من منطقة التشكيل 64‑QAM مما يتسبب بزيادة فعالية طيف تشكيل 64‑QAM من 256‑QAM.

الجـدول 6

مقارنة الفعالية SUE بين 64 و256-QAM للهوائيات SHD

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| المعلمة | 64-QAM | 256-QAM |
| VC | 2016 | 2688 |
| *B* (MHz) (انظر الجدول 4) | 22,5 | 22,5 |
| *Pt* (dBm) (انظر الجدول 4) | 33,5 | 39,5 |
| *Imax* (dBm) | 102,5– | 102,5– |
| *A* (km2) (انظر الجدول 11) | 421 | 830 |
| SUE (انظر الجدول 5) | 0,212 | 0,144 |

إلا أن إمكانية الحفاظ على الطيف لنظام ما تتعلق بعدة عوامل تصميم يجب أن تؤخذ كلها في الاعتبار لدى تقييم فعالية طيف النظام. أي أنه لا يمكن القول بأن نظاماً بتشكيل خاص يحافظ بنسبة أكثر على الطيف من نظام ذات تشكيل آخر دون أخذ عوامل التصميم الأخرى (أي الهوائيات ومعالجة الإشارة ومراشيح التردد RF، إلخ.).

ويمكن أن يستخدم الجدول 5 كذلك من أجل تحديد التحسن النسبي في الحفاظ على الطيف لاستخدام الهوائي SDH أو الهوائي CHR بالنسبة إلى هوائي STD. وكما ذكر ذلك سابقاً، فإن التحسن في الحفاظ على الطيف من أجل الهوائيات SHD أو CHR يتوقف على نمط التشكيل. ويعود ذلك إلى أن المنطقة المرفوضة الناتجة عن نمط هوائي خاص تتوقف على *Pt* التي تتوقف بدورها على التشكيل (انظر الشكل 14). ويبين الجدول 7 النسبة المئوية للتحسن في الفعالية SUE من أجل مختلف التشكيلات التي يتم النظر فيها باستخدام معطيات الفعالية SUE الواردة في الجدول 5. ومن أجل التشكيلات الرقمية، تظهر أفضل التحسينات من أجل التشكيل 256‑QAM مع زيادة تبلغ %28 و%533 في الهوائيات SHD وCHR على التوالي.

الجـدول 7

تحسن الفعالية SUE من أجل الهوائيات SHD وCHR المتعلقة بالتشكيل

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| نمط التشكيل | التحسن في الفعالية SUE | |
| الهوائي SHD | الهوائي CHR |
| 16-QAM | %8– | %130 |
| 64-QAM | %6 | %338 |
| 256-QAM | %28 | %533 |

### 4.4.2 معالجة الإشارة

في أنظمة المرحل الراديوي الثابتة تتم معالجة الإشارة عند مطراف المرسل والمستقبِل. وتقوم معالجة الإشارة على العمليات الكهربائية في إشارة ما من أجل إنتاج بعض الخصائص المرغوبة. ويمكن أن تؤثر معالجة الإشارة على معلمات مثل الاتساع والتردد والطور وسوية الإشارة والاعتمادية. ويمكن أن يحسن استعمال تقنيات معالجة الإشارة كسب المعالجة في النظام مما يتيح *Pt* أقل من أجل معايير محددة لأداء خرج المستقبِل.وبالتالي وعلى الرغم من استخدام تقنيات معالجة الإشارة، يمكن تخفيض *Pt* عن طريق تخفيض (المنطقة) المكانية المرفوضة للأنظمة الأخرى. إلا أنه لا بد منالإشارة إلى أن مصممات وصلة الموجة الصغرية تستخدم تقنيات معالجة الإشارة لتحسين اعتمادية الوصلة وهي لا تؤخذ في الاعتبار عموماً من أجل الحفاظ على الطيف.

### 5.4.2 تصحيح/تشفير الأخطاء

إن تشفير التصحيح FEC هو طريقة لتحسين الأداء BER من أجل أداء أنظمة الموجات الصغرية الرقمية وخاصة حين تكون قدرة النظام محدودة. إن استعمال تقنيات تشفير التصحيح FEC يتيح عدداً محدوداً من تصحيح الأخطاء عند طرف الاستقبال بواسطة تشفير برامجيات (أو عتاد) خاصة تنفذ عند كلا طرفي الدارة. ويمكن أن يستعاض عن تحسن النسبة BER بتخفيض في النسبة (*C/N*)i المطلوبة للمستقبل من أجل إيفاء أداء النسبة BER المحددة مما يخفض من منطقة الرفض للأنظمة الأخرى. ويشار إلى التخفيض في النسبة (*C/N*)i بكسب التشفير. ويرد وصل أداء تقنية التشفير بواسطة كسب التشفير ومعدل التشفير. إلا أن لمعدل التشفير أثر على النظام الذي يشغله عرض النطاق مما يزيد من الطيف المرفوض إلى مستعملين آخرين للنظام.

ومن أجل بيان أثر التشفير على الحفاظ على الطيف، فقد تم اختيار 64‑QAM كتشكيل للدراسة. وقد تم اختيار أربعة أنماط من التصحيح FEC ويبين الجدول 8 معدل التشفير وعامل تمديد عرض النطاق (1/معدل التشفير)، وعرض النطاق المشغول بعد التشفير والتخفيض الممكن الحصول علينه في النسبة (*C/N*)i من أجل النسبة BER البالغة 6-10 × 1 و*Pt* المطلوبة بعد أخذ التخفيض الممكن الحصول عليه في النسبة (*C/N*)i في الاعتبار. وقد أدخلت القيم من أجل عرض النطاق والقدرةالمبينة في الشكل 8 من أجل نموذج الفعالية SUE لتقييم التشفير كتقنية للحفاظ على الطيف. وقد بين الجدول 9 الفعالية SUE من أجل الهوائيات STD وSHD وCHR. وإن الفعالية SUE من أجل 64‑QAM دون التشفير تبين كذلك في الشكل 9 من أجل مقارنة مرجعية مع وبدون التشفير.

الجـدول 8

تصحيح/تشفير الأخطاء (التشكيل (64-QAM-64

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| معالجة الإشارة | معدل التشفير | عامل تمديد عرض النطاق | عرض النطاق المشغول، *B* (MHz) | التخفيض في النسبة *C*/*N* (dB) | قدرة خرج المرسل *Pt* (dBm) |
| تصحيح تشفير الأخطاء | 2/1 4/3 8/7 19/18 | 2 1,333 1,142 1,055 | 45,00  30,00  25,70  23,74 | 6,0  3,5  2,0  3,0 | 27,5  30,0  31,5  30,5 |

وبصورة موجزة، فإن قيم الفعالية SUE المبينة في الجدول 9 تشير إلى أن تقنيات معالجة الإشارة مثل تصحيح/تشفير الأخطاء التي تستخدم عرض نطاق التردد RF بالنسبة إلى الاستعاضات عن النسبة *C/N* توفر تحسناً مهماً في الحفاظ على الطيف وفي قيم أعلى للفعالية SUE حين تستخدم تقنيات تشفير عالية الفعالية (أي تقنيات تشفير بمعدلات تشفير وكسب تشفير عاليين). وكذلك التحسن النسبي في الحفاظ على الطيف يكون أهم حين يكون للنظام هوائي STD منه حين يتوفر هوائي SHD أو CHR. ويعود ذلك إلى أن التخفيض في المنطقة المرفوضة أكبر للهوائيات STD بسبب الخصائص الأعلى للفص الجانبي/الخلفي.

الجـدول 9

الفعالية SUE من أجل التشفير/التصحيح (التشكيل (64-QAM

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| نمط معالجة الإشارة | | الفعالية SUE لمختلف أنماط الهوائيات | | |
| STD | SHD | CHR |
| دون معالجة الإشارة | | 0,201 | 0,212 | 0,811 |
| تصحيح/تشفير الأخطاء | معدل التشفير |  |  |  |
|  | 1/2 3/4 7/8 18/19 | 0,230 0,249 0,235 0,294 | 0,211 0,240 0,237 0,285 | 0,532 0,673 0,754 0,838 |

### 6.4.2 المسويات التكييفية/العرضانية

إن المسويات التكييفية/العرضانية تحسن الأداء الرقمي للنظام بوجود خبو متعدد المسيرات وتشوه خطي أو كلاهما. ولا يمكن للمسويات إلا أن تخفف من المظاهر التشتتية للخبو متعدد المسيرات. وتعيد هذه المسويات التكييفية قولبة النبض من أجل تخفيض التداخل بين الرموز. ويمكن تحقيق تحسن من 4 إلى dB 6 في هوامش الخبو المركب مع هذه المسويات في المستقبِلات 64‑QAM. والمظهر السلبي الأساسي للمسويات التكييفية هو كلفتها. وقد تم تشغيل هذا النموذج من أجل عرض نطاق نظام يبلغ MHz 22,5 و*Pt* تبلغ dBm 29,5 (تخفيض يبلغ dB 4 في *Pt* من أجل 64-QAM). ويبين الجدول 10 الفعالية SUE من أجل ثلاثة أنماط من الهوائيات. وتبين كذلك المسويات التكييفية في الجدول من أجل المقارنة مع المسويات التكييفية.

الجـدول 10

تحسن الفعالية SUE من أجل المسويات التكييفية (التشكيل (64-QAM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| نمط معالجة الإشارة | الفعالية SUE لمختلف أنماط الهوائيات | | |
| STD | SHD | CHR |
| دون معالجة الإشارة | 0,201 | 0,212 | 0,811 |
| مع مسويات تكييفية | 0,355 | 0,337 | 0,930 |

من أجل 64-QAM، يمكن أن يحسن استعمال مسويات تكييفية من خصائص الحفاظ على الطيف لنظام من %15 إلى %75 تقريباً مع أفضل تحسين في الأنظمة التي تستخدم الهوائيات STD.

### 7.4.2 تصحيح/تشفير الأخطاء والمسويات التكييفية

بعض الأنظمة الرقمية تستخدم كل من تصحيح/تشفير الأخطاء والمسويات التكييفية لتحسين أداء النظام. ومن أجل 64‑QAM، يمكن أن يؤدي استخدام تصحيح/تشفير الأخطاء (18/19 معدل التشفير) والمسويات التكييفية إلى تخفيض النسبة (*C/N*)*i* المطلوبة dB 7 من أجل 6-10 × 1 = BER. ويبين في الجدول 11 التطبيق من أجل نموذج الفعالية SUE في عرض نطاق مشغول يبلغ MHz 23,74 و*Pt* تبلغ dBm 26,5 (تخفيض يبلغ dB 7 في *Pt* من أجل 64‑QAM). ويبين الجدول 11 أن استخدام تصحيح/تشفير الأخطاء والمسويات التكييفية بإمكانه أن يحسن خصائص الحفاظ على الطيف لنظام ما من %30 إلى %150 وتحقق تحسينات كبيرة في الأنظمة التي تستخدم هوائيات من النمط المكافئي.

الجـدول 11

تصحيح تشفير أخطاء الفعالية SUE والمسويات التكييفية (التشكيل (64‑QAM

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| الفعالية SUE من أجل مختلف أنماط الهوائي | نمط معالجة الإشارة | | |
| STD | SHD | CHR |
| دون معالجة الإشارة | 0,201 | 0,212 | 0,811 |
| تشفير/تصحيح الأخطاء والمسويات | 0,503 | 0,441 | 1,066 |

### 8.4.2 الملخص

**1.8.4.2** إن إمكانية الحفاظ على الطيف لنظام ما تتعلق بعدة عوامل تصميم يجب أن تؤخذ كلها في الاعتبار لدى تقييم الفعالية SUE لنظام ما. أي أنه لا يمكن القول بأن نظاما ما بتشكيل خاص يحافظ على الطيف على نحو أفضل من نظام بتشكيل آخر دون أخذ كل عوامل التصميم الأخرى مثل الهوائيات ومعالجة الإشارة إلخ في الاعتبار.

**2.8.4.2** إن التشكيلات الرقمية من الدرجة الأعلى (تشكيلات بفعالية إرسال أعلى، بتة (Hz . s) تتطلب سويات أعلى من أجل *Pt* وبالتالي حين يستخدم تعريف استخدام الطيف والفعالية الذي يأخذ المنطقة المرفوضة في الاعتبار، لا تكون التشكيلات بفعالية إرسال أعلى أكثر حفاظاً على الطيف بالضرورة. وبالتالي فإن فعالية الإرسال للتشكيل الرقمي قد لا تكفي كمؤشر لفعالية الطيف.

**الملاحظة 1 –** يتوفر المزيد من المعلومات في المرجع التالي:

HINKLE, R.L. and FARRAR, A.A., [May 1989] “Spectrum-conservation techniques for fixed microwave systems”. NTIA Report TR-89-243. National Telecommunication and Information Administration. US Dept. of Commerce, United States of America.

## 5.2 الفعالية RSE لوصلات المرحل الراديوي الريفي بقفزة واحدة

لقد تمت مقارنة قيم الفعالية RSE لأنظمة المرحل الراديوي من نقطة إلى عدة نقاط الريفية بقفزة واحدة مع النظام MTES باستخدام أنماط تشكيل مختلفة (انظر الملحق 1، الفقرة 3 والمعادلة ((4).

وفي النموذج الذي تم اعتماده لمثل هذه الشبكة، يكون لكل محطة مركزية منطقة خدمة خاصة تتصل فيها بواسطة وصلات بقسم وحيد مع أربع محطات محلية تقع في مواقع ريفية مختلفة.

إن الفعالية RSE في مثل هذه الشبكة في العلاقة بالنسبة إلى النظام MTES قد اعتبرت متعلقة بعدد كبير من المعلمات: نطاق التردد المستخدم ونمط التردد والتخطيط المكاني في الشبكة والارتفاع الذي يعلق عنده الهوائي وقطر الهوائي تحت أنماط ومعلمات مختلفة للتشكيل (التشكيل FM والتشكيل PCM مع الإبراق PSK المتعدد).

إن الجدول 12 يمثل بعض نتائج هذه الحسابات في حالة تشغيل شبكة في نطاق التردد GHz 8 مع ارتفاعات تعلق هوائيات تبلغ m 45 وقطري هوائي، *D* يبلغان m 1,5 وm 3,0 وعمليات ذات ترددين و4 ترددات (*k* = 2 و4 على التوالي) ونمطي خطة الاستقطاب – مع استخدام نمطي استقطاب ذات (1*P*) و(2*P*) في الشبكة. ومن أجل التشكيل PCM، تعطى المعطيات من أجل 2‑PSK (2=*M*) وPSK 4 (4=*M*) ومن أجل قيمة *(Mmax*) تضمن قيمة قصوى من أجل الفعالية RSE. وإن الشرطات في الجدول 12 تشير إلى أنه مع تركيبات معينة من المعلمات، لا يمكن الإيفاء بمقاييس خصائص الأداء. وكما يبين في الجدول 12، فإن استخدام التشكيل PCM مع الإبراق PSK يؤدي إلى كسب في الفعالية RSE فقط مع شروط التشكيل المثلى (8 ≤ M*max*) وهوائيات بقطر يبلغ 3 أمتار.

**الملاحظة 1 –** تتوفر معلومات إضافية في الملحق IV من التقرير 662‑3 (دوسلدرف، 1990).

الجـدول 12

الفعالية RSE لوصلات المرحل الراديوي الريفي بقفزة واحدة

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| التشكيل | خطة التردد | معلمات التشكيل | RSE | | | |
| *D* = 1,5 m | | *D* = 3,0 m | |
| 1P | 2P | 1P | 2P |
| FM | *K* = 2 |  | 0,27 | 0,3 | 0,285 | 0,285 |
|  | *K* = 4 |  | 0,2 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
|  |  | *M* = 2 | – | – | 0,055 | 0,049 |
|  | *K* = 2 | *M* = 4 | – | – | – | – |
| PCM |  | *Mmax* | – | – | 0,055 | 0,055 |
|  |  | *M* = 2 | 0,125 | 0,0625 | 0,0625 | 0,0625 |
|  | *K* = 4 | *M* = 4 | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
|  |  | *Mmax* | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,5 |

## 6.2 استعمال الطيف في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة

### 1.6.2 مقدمة

تعطى عموماً كفاءة استعمال الطيف في نظام من نقطة-إلى-نقطة بالمعادلة المركبة التالية:

 (30)

حيث:

*M*: التأثير النافع الناتج عند استعمال النظام المعني من نقطة إلى نقطة؛

*:U* عامل استعمال الدليل الخاص بالنظام المعني.

### 2.6.2 تعريف التأثير النافع في النظام من نقطة إلى نقطة

ينطبق مفهوم التأثير النافع في نظام من نقطة إلى نقطة على الأنظمة التماثلية والأنظمة الرقمية على حد سواء. ويمكن ببساطة اعتبار أن التاثير النافع لنظام تماثلي هو مرجعياً عدد القنوات الصوتية للإرسال. غير أنه من المهم أيضاً فيما يتعلق بالأنظمة من نقطة إلى نقطة. دراسة المسافة الكلية التي ترسل عبرها المعلومات. وهكذا يمكن تعريف التأثير النافع للنظام التماثلي من نقطة إلى نقطة على النحو التالي:

 (31)

حيث:

:*M* التأثير النافع الناتج عن استعمال نظام تماثلي من نقطة-إلى-نقطة

:*nvc* عدد القنوات الصوتية التي توفرها الوصلة

:*D* المسافة التي ترسل عبرها المعلومات.

والمسافة *D* الواجب استخدامها في وصلة ما هي طول الوصلة الفعلي. إلا أنه فيما يتعلق بتقييم النظام عموماً، يتم استخدام قيم نمطية *D* تبعاً لتردد تشغيل النظام.

أما في حالة الأنظمة الرقمية فمن الممكن قياس التأثير النافع بضرب معدل الإرسال في المسافة الكلية التي ترسل عبرها المعلومات.

وتضم المعلومات التي يرسلها نظام رقمي معطيات إضافية عديدة (فائضة) علاوة على المعطيات المفيدة. ويشتمل هذا الفائض على بروتوكولات التحكم وشفرات كشف الأخطاء وتصميمها ومعلومات تتصل بإدارة النظام. ويتألف معدل الإرسال الإجمالي للنظام من الفائض والمعطيات النافعة. ويقترح من أجل قياس حجم المعطيات النافعة المرسلة استخدام عامل الفائض على النحو التالي:

 (32)

حيث:

*M:* التأثير النافع الناتج عن نظام رقمي من نقطة-إلى-نقطة

*TTR:* معدل الإرسال الإجمالي للنظام

*OF:* عامل الفائض، وتتراوح قيمته بين 0 و1

*D:* المسافة التي ترسل عبرها المعلومات.

وإذا عرف معدل إرسال رسائل المستعمل، يستعاض عن عامل الفائض بمعدل الإرسال الفعلي على النحو التالي:

 (33)

حيث:

*M:* التأثير النافع الناتج عن نظام رقمي من نقطة-إلى-نقطة

*ETR:* معدل الإرسال الفعلي للنظام

*D:* المسافة التي ترسل عبرها المعلومات

وإذا تعذّر قياس معدل الإرسال الإجمالي أو الفعلي، يمكن استخدم أدنى معدل مطلوب للإرسال الخاص بالترددات الراديوية التي تستعملها التجهيزات.

### 3.6.2 تعريف عامل استعمال الطيف في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة

يحسب عامل استعمال الطيف في نظام من نقطة-إلى-نقطة باستعمال المعادلة التالية:

 (34)

حيث:

*:U* عامل استعمال الطيف في نظام من نقطة-إلى-نقطة

*:B* عرض النطاق المرفوض

*:S* المساحة الجغرافية المرفوضة (المنطقة)

*:T* الفترة المرفوضة، وتتراوح قيمتها بين 0 و1.

ويعادل عرض النطاق *B* المقياس المحدد في القواعد الناظمة المطبقة على الترددات الراديوية. ومن الممكن أيضاً استخدام عرض القناة عند عدم توفر معلومات خاصة بالمقياس.

وعند حساب المساحة الهندسية المرفوضة *(S)*، يستحسن تفحص المناطق التي يرفضها المرسل وتلك التي يرفضها المستقبِل على أساس القيمة الفعلية لمعلمات الوصلة. وتعادل المساحة الهندسية المرفوضة مجموع مساحات القطاعات *(AS)* المرفوضة من المرسل والمستقبِل. وعندما تضم المنطقة التي يرفضها المرسل كامل المنطقة التي يرفضها المستقبِل، يكون من غير الضروري حساب هذه الأخيرة. ويستحسن في الحالات الأخرى إضافة جزء المنطقة المرفوض من المستقبِل الواقع خارج المنطقة المرفوضة من المرسل إلى هذه الأخيرة من أجل الحصول على المنطقة المرفوضة الكلية *(S)*.

ويتم حساب المنطقة المرفوضة من المرسل أو من المستقبِل بالرجوع إلى مخطط الهوائي. وبالإمكان حساب المنطقة المرفوضة بجمع مساحات القطاعات الزاويّة التي يمكن فيها اعتبار كسب الهوائي شبه ثابت.

 (35)

حيث:

*:S* المساحة الهندسية المرفوضة (بالكيلومترات)

*:ASi* المساحة المرفوضة في القطاع *i (بالكيلومترات)*

*:n* عدد القطاعات.

ويمكن حساب مساحة قطاع *AS* كالتالي:

 (36)

حيث:

*:AS* مساحة القطاع (بالكيلومترات المربعة)

*:R* نصف قطر القطاع (بالكيلومترات)

:θ زاوية القطاع (بالدرجات).

وكقاعدة عامة يتم مبدئياً تحليل كامل محيط منطقة المرسل (º360) من أجل الحصول على المنطقة المرفوضة. وتظهر النتائج العملية بالتأكيد أن الزوايا المعطاة مع الاتجاه (السمت) هي وحدها المفيدة. وهكذا، يمكن في كثير من الحالات، دراسة قطاع واحد فقط تساوي زاويته فتحة نصف قدرة حزمة الهوائي لغلاف مخطط إشعاع الهوائي المعني. وبإجراء هذا التبسيط يمكن حساب المساحة الهندسية المرفوضة *S* كالتالي:

 (37)

حيث:

:*S* المساحة الهندسية المرفوضة (بالكيلومترات)

:*R* نصف قطر القطاع (بالكيلومترات)

:θ*HP* فتحة نصف قدرة حزمة الهوائي (بالدرجات).

وعند حساب نصف قطر القطاع في المنطقة المرفوضة من المرسل، يفترض وجود مستقبلٍ في كل قطاع مسدَّد باتجاه المرسل. وكذلك فيما يتعلق بحساب نصف قطر قطاع المنطقة المرفوضة من المستقبِل، يفترض وجود مرسلٍ في كل قطاع مسدّد باتجاه المستقبل. ويحسب نصف قطر القطاع كالتالي:

 (38)

*A* = *PTX*– *LC TX*+ *GTX* + *GRX* – *LC RX* – *IRX* – 20 log (*f*) – 32.44 – *AD* (39)

حيث:

:*PTX* قدرة الإرسال (dBm)

:*LC TX* توهين دارة الإرسال (dB)

:*GTX* كسب هوائي المرسل في مركز فتحة حزمة القطاع (dBi)

:*GRX* كسب هوائي المستقبل باتجاه المرسل (السمت) (dBi)

:*LC RX* توهين دارة الاستقبال (dB)

:*IRX* عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

:*f* التردد المركزي للتشغيل (MHz)

:*AD* توهين الانعراج الإضافي (dB).

فيما يتعلق بالوصلات التي يصيبها الانعراج، يحسب توهين الانعراج الإضافي *AD* كالتالي:

(40)

حيث:

:*AD* توهين الانعراج الإضافي (dB)

:*h* المسافة الفاصلة بين العائق الأشد إزعاجاً وخط البصر (تكون *h* سالبة عندما يكن خط البصر محجوباً) (m)

:*F*1 نصف القطر لأول شكل فرسنيل الإهليلجي في*h*(m).

**الملاحظة 1 -** لا يراعي توهين الانعراج الإضافي المعتمد إلا العائق الأكثر إزعاجاً ويمكن أيضاً اختيار نماذج أخرى للحصول على نتائج أكثر واقعية.

ونموذج الانتشار الذي اعتمد لتحليل النظام العام هو الانتشار في الفضاء الحر. وإذا عرف موقع النظام يمكن استخدام نماذج انتشار أخرى أقل تقليدية.

ويمكن حساب سوية عتبة التداخل في المستقبل (*IRX*) بطريقتين مختلفتين هما:

الطريقة A

عند معرفة القيمة القصوى لنسبة الموجة الحاملة إلى التداخل في مستقبل النظام، يفترض أن الإشارة *C* التي تستقبلها مستقبلات الوصلة المصابة بالتداخل تساوي حساسية تجهيزات الاستقبال، علماً بأن *IRX* تنتج مباشرة على النحو التالي:

*IRX* = *C* – *C*/*IMAX* (41)

حيث:

:*IRX* سوية عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

:*C* سوية الإشارة التي يستقبلها المستقبل، وتعطى على أنها حساسية تجهيزات الاستقبال (dBm)

:*IMAX* أعلى سوية للتداخل في المستقبل.

الطريقة B

إذا لم تكن قيمة النسبة *C/IMAX* معروفة، يجب تحديد هامش الحد الأدنى المطلوب من المستقبل من أجل حساب *IRX*. وفي هذه الحالة:

 (42)

*D = DM – DS* (43)

*DM = MC – MM* (44)

حيث:

:*IRX* سوية عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

:*IEQ* سوية التداخل المرجعي محسوبة استناداً إلى النسبة *C/IMAX* في المستقبِل المصاب بالتداخل؛ وتكون *C* بالتالي مساوية لحساسية المستقبل (dBm)

:*D* أقصى انحطاط يمكن أن يصدر عن مرسل معين (dB)

:*DM* أقصى انحطاط مسموح في المستقبل (dB)

:*DS* الانحطاط التقديري في المستقبل (dB)

:*MM* أقل هامش مسموح به (dB)

:*MC* الهامش المحسوب للنظام (dB).

**الملاحظة 1 -** في حالة النظام العام الذي يتعذّر عليه تحديد الهامش المطلوب بدقة تكون القيمة *MC* هي الهامش المناسب للنظام.

**الملاحظة 2 -** ينبغي تحديد الانحطاط التقديري *DS* بحساب التداخل التراكمي الناتج عن المرسلات الأخرى الواقعة قرب المستقبل موضوع الدراسة.

**الملاحظة 3 -** عند عدم توفر المعلومات المطلوبة عن الأنظمة الأخرى المسببة للتداخل، يتم اعتماد قيمة dB 3 للانحطاط.

### 4.6.2 حساب الكفاءة SUE في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة

يتناول هذا المثال دراسة نظام من نقطة-إلى-نقطة وتقوم هذه الدراسة على افتراض أن المنطقة المرفوضة من المرسل تضم كامل المنطقة المرفوضة من المستقبل. وإلا فينبغي إضافة جزء منطقة المستقبل الواقعة داخل منطقة المرسل إلى منطقة المرسل من أجل الحصول على المنطقة المرفوضة الإجمالية *(S)*. وطريقة حساب المنطقة المرفوضة هي نفسها بالنسبة إلى المستقبل وإلى المرسل.

ويعرض الجدول 13 خصائص نظام رقمي تستخدم كأمثلة لحساب كفاءة استعمال الطيف في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة. كما يمكن حساب التأثير النافع استناداً إلى هذه العناصر.

الجـدول 13

معدل الإرسال وعامل الفائض

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| نطاق الترددات (GHz) | معدل الإرسال الإجمالي (Mbit/s) | العامل*OF* في النظام |
| 8,5 | 17 (8E1) | 0,9035 |

التأثير النافع للنظام المأخوذ كمثال هو معدل الإرسال الفعلي الذي يعادل معدل الإرسال الإجمالي مضروباً بعامل الفائض (المعادلتان (32) و(33)). ويبين الجدول 14 القيمة المحسوبة لمعدل الإرسال الفعلي *(M).*

الجـدول 14

معدل الإرسال الفعلي (*M*)

|  |
| --- |
| معدل الإرسال الفعلي (Mbit/s) |
| 15,36 |

ويبين الجدول 15 قيمة المسار النمطي *(D)* للوصلات العاملة في نطاق الترددات.

الجـدول 15

المسافة التي ترسل عبرها المعلومات

|  |
| --- |
| المسافة  (km) |
| 20,1 |

ويبين الجدول 16 عرض النطاق الذي يرفضه النظام.

الجـدول 16

عرض النطاق

|  |
| --- |
| عرض النطاق (MHz) |
| 7 |

ويفترض في مثال الحساب هذا أن النظام في حالة نشاط دائم. وهكذا تكون المعلمة T المقابلة للمدة في المعادلة (34) لها قيمة 1.

وتبين الجداول الواردة أدناه القيم المحسوبة اللازمة لتحديد المساحة الهندسية المرفوضة من المرسل أو من المستقبل في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة، ويُعرض الإجراء لأسباب تنظيمية على شكل تتابع:

أ ) زاوية القطاعات، θ

تستعمل تبعاً لنطاقات التردد هوائيات ذات خصائص مميزة. فالمعلمة θ لها قيمة مختلفة في كل نطاق. ويبين الجدول 17 الزاوية وعدد القطاعات المنتقاة للنظام كأمثلة.

الجـدول 17

زاوية القطاعات (θ)

|  |  |
| --- | --- |
| زاوية القطاعات (بالدرجات) (1) | عدد القطاعات المعتمد (2) |
| 10 | 3 |
| (1) تعادل تقريباً فتحة نصف قدرة الحزمة لغلاف مخطط إشعاع الهوائي المعني.  (2) عدد القطاعات المعنية. | |

ب) نصف قطر القطاعات (R)

يبين الجدول 18 قيم المعلمات التي يمكن استنتاجها مباشرة من مواصفات النظام دون الحاجة إلى إجراء حسابات أخرى.

الجـدول 18

التردد المركزي ومعلمات النظام

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *PTX* (dBm) | *LC TX* (dB) | *LC RX* (dB) | *GRX* (dBi) | (1)*f* (GHz) |
| 24,5 | 4,4 | 4,2 | 36,7 | 8,45 |
| (1) التردد المركزي في الجزء الأعلى من النطاق. | | | | |

ج) كسب هوائي المرسل (*GTX*)

المعلمة *GTX* هي كسب هوائي المرسل على طول المحور في قطاع معين. ويبين الجدول 19 القيم المحسوبة *GTX* لكل قطاع (θ) محدد في الجدول 17.

الجـدول 19

كسب هوائي المرسل في كل قطاع\*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| قطاع الزاوية θ1 | قطاع الزاوية (1)θ2 | قطاع الزاوية θ3 |
| *GTX* 1 | *GTX* 2 | *GTX* 3 |
| 14,7 | 36,7 | 14,7 |
| \* تنتج استناداً إلى غلاف مخطط إشعاع الهوائي.  (1) يعمل على انطباق محور القطاع θ2 مع محور الفص الرئيسي للهوائي. والقطاعان θ1 وθ3 مجاوران للقطاع θ2. | | |

تعادل كل قيمة *GTX* حسب المعادلتين (38) و(39) قيمة *R*، علماً بأن كسب هوائي المرسل، دون غيره، يتغير في كل قطاع.

د) عتبة التداخل في المستقبل *IRX))*

ثمة طريقتان لحساب عتبة التداخل في المستقبل وهما: حساب العتبة مباشرة استناداً إلى النسبة *C/IMAX* وحساب العتبة استناداً إلى أدنى هامش مطلوب للمستقبل. ونظراً إلى أن الطريقة الثانية تتطلب عدداً أكبر من الخطوات فإنها تستعمل من أجل توضيح الحساب.

ويقدم الجدول 20 قيماً نمطية للمعلمتين *C/IMAX* و*IEQ*، محسوبة استناداً إلى خصائص التجهيزات. وتستخدم هذه القيم في المعادلة (42).

الجـدول 20

قيم المعلمتين *C/IMAX* و*IEQ*

|  |  |
| --- | --- |
| *C*/*IMAX* (dB) | *EQ*نظام (1)I(dBm) |
| 17,0 | 105,0– |
| (1) نتجت هذه القيم بافتراض أن C تعادل عتبة التداخل في المستقبل. | | |

ﻫ ) الانحطاط الأقصى *(D)*

يضم الجدول 21 المعلمات *DM* و*DS* و*MC* و*MM* للنظام المستخدم كمثال والقيمة المحسوبة *D* (المعادلتان (43) و((44) وهي آخر معلمة مستخدمة في المعادلة (42).

الجـدول 21

معلمات الانحطاط

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| هامش محسوب أو منشود، *MC* (dB) | هامش الحد الأدنى، *MM* (dB) | الانحطاط الأقصى، *DM* (dB) | انحطاط تقديري (1)*DS* (dB) | أقصى انحطاط ناتج *D* (dB) |
| 35,8 | 30,1 | 5,7 | 3,0 | 2,7 |
| (1) ينبغي أن يكون الانحطاط التقديري *DS* قيمة تنتج عن تجميع الأنظمة المسببة للتداخل قرب النظام المعني. وعند عدم توفر مثل هذه المعلومات، تعتمد القيمة *DS* = dB 3. | | | | |

ويتيح استعمال القيمة *D* في المعادلة (42) الحصول على القيمة *IRX* للنظام.

وتم اعتباطياً اختيار القيمة 2– للنسبة *h*/*F*1 الواردة في المعادلة (40) من أجل تحديد توهين الانعراج الإضافي *(AD)* الضروري لحساب التوهين الإجمالي. ووضعت هذه القيمة مع مراعاة انحناء الأرض وإنتاج توهين انعراج إضافي يتماشى مع الملاحظات العملية. ويمكن التحقق من هذا الأمر من خلال مراقبة أنصاف أقطار القطاع الناتجة (الجدول 22) والتي تتوافق مع قيم التداخل الحدية المستخدمة لهذه النطاقات.

وبعد تحديد القيمتين *IRX* و*AD* يمكن حساب نصف القطر *R* باستخدام المعادلة (38).

وبالإمكان في هذه المرحلة حساب مساحة القطاع المرفوض. ويبين الجدولان 22 و23 قيم المعلمات المطلوبة.

الجـدول 22

معلمات التداخل وأنصاف أقطار القطاعات

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *IRX*  (dBm) | *فتحة الحزمة* θ1 | | *فتحة الحزمة* θ2 | | *فتحة الحزمة* θ3 | |
| *A*1 (dBm) | *R*1 (km) | *A*2 (dBm) | *R*2 (km) | *A*3(dBm) | *R*3 (km) |
| 105,6– | 12,0 | 4,0 | 34,0 | 49,9 | 12,0 | 4,0 |

الجـدول 23

مناطق القطاع والمساحة الهندسية المرفوضة

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *فتحة الحزمة* θ1 | *فتحة الحزمة* θ2 | *فتحة الحزمة* θ3 | المساحة الهندسية المرفوضة *S* (2km) |
| *AS*1 (2km) | *AS*2 (2km) | *AS*3(2km) |  |
| 1,4 | 217,6 | 1,4 | 220,3 |

ويعطي مجموع المناطق المرفوضة لكل قطاع المساحة الهندسية المرفوضة (S) التي تشكل آخر معلمة مطلوبة لتحديد الكفاءة SUE. ويبين الجدول 24 النتيجة النهائية لهذا المثال.

الجـدول 24

الكفاءة SUE في نظام من نقطة-إلى-نقطة

|  |
| --- |
| SUE (Mb/s.km.MHz) |
| 0,2 |

# 3 استخدام الطيف في أنظمة إذاعة تلفزيونية أو صوتية

## 1.3 مقدمة

يفترض وجود نظام إذاعة تلفزيونية أو صوتية يقع في منطقة جغرافية معينة ومزودة بعدد *J* من المرسلات. وتعطى عموماً كفاءة استعمال الطيف في العلاقة المركبة التالية:

 (45)

حيث:

:*M* التأثير النافع الناتج عن نظام الإذاعة المعني؛

:*U* عامل استعمال الطيف في هذا النظام.

## 2.3 تعريف التأثير النافع في نظام إذاعة تلفزيونية

تتحدد فائدة برنامج إذاعي تلفزيوني بعدد المستعملين (من السكان) القادرين على استقبال هذا البرنامج من مكان إقامتهم عموماً.

ويتغيّر التأثير النافع لنظام إذاعة تلفزيونية تبعاً للكثافة السكانية في مختلف أنحاء المنطقة الجغرافية المعنية وتبعاً لعدد البرامج التلفزيونية التي يمكن استقبالها. وبالإمكان تمثيل درجة تيسر البرامج التلفزيونية عند السكان المعنيين بواسطة دالة التوزيع التراكمي المبينة في الشكل 15.

الشـكل 15



عدد البرامج التلفزيونية

يمثل الخط *F*(*k*) في هذا الرسم البياني نسبة المستعملين القادرين على استقبال مقدار *k* من البرامج التلفزيونية كحد أدنى. وكلما ازدادت قيمة الدالة كلما ازداد عدد المستعملين الذين يتوفر لهم عدد كبير من البرامج، وبالتالي تزداد أهمية التأثير النافع لنظام الإذاعة التلفزيونية في هذه المنطقة الجغرافية. وتعطي الدالة *F*(*k*) مواصفات كاملة للتأثير النافع وتوضح بنيته. غير أن استعمالها من وجهة نظر عملية لا يلائم تماماً تقييم كفاءة استعمال الطيف في الأنظمة الإذاعية التلفزيونية. ومن الأسهل استخدام دليل أحادي مستقل تشغيلياً عن الدالة *F*(*k*). ونظراً إلى أن التأثير النافع يزداد بازدياد الدالة *F*(*k*) فمن الممكن الحصول على دليل بسيط من خلال حساب المساحة الواقعة تحت المنحنى أو أساس مستطيل مكافئ له نفس المساحة (يظهر على شكل منقط في الشكل 15) بالكيلومترات. ويعادل هذا المستطيل متوسط عدد البرامج التلفزيونية التي يمكن للمستعمل الواحد استقبالها. ويستخدم هذا العدد كدليل بسيط للتأثير النافع الناتج عن الأنظمة الإذاعية التلفزيونية. أما المعادلة التي تتيح الحصول على هذا الدليل فلها الشكل التحليلي التالي:

 (46)

حيث:

:*I* عدد الأجزاء التي تكوِّن المنطقة الجغرافية

: النسبة السكانية داخل الجزء *i* من المنطقة الجغرافية

:*ni* عدد السكان المقيمين داخل الجزء *i* من المنطقة الجغرافية

:*ki* عدد البرامج التلفزيونية التي يمكن استقبالها في الجزء *i* من المنطقة

:*N* عدد السكان في المنطقة الجغرافية.

مثال لحساب التأثير النافع

لنفترض منطقة عدد سكانها *N* = 250 000 وعدداً من الأجزاء المتفرقة للمنطقة *I* = 9. يبين الجدول 25 توزيع السكان وعدد البرامج التلفزيونية لكل جزء منطقة (*n* و*ki* على التوالي).

الجـدول 25

توزيع السكان وعدد البرامج التلفزيونية لكل جزء في المنطقة

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| الجزء | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| *ni* ، بالآلاف | 20 | 10 | 60 | 0 | 100 | 10 | 40 | 10 | 0 |
| *ki*  (الخيار 1) | 4 | 2 | 8 | 1 | 10 | 2 | 6 | 4 | 1 |
| *ki* (الخيار 2) | 1 | 2 | 4 | 1 | 4 | 8 | 10 | 6 | 2 |

في حالة الخيار 1 المبين في الجدول، يمكن حساب التأثير النافع استناداً إلى هذه المعطيات باستعمال المعادلة (46)، مما يعطي:



وإذا تم توزيع النطاقات حسب الخيار الثاني الذي لا يراعي تماماً التوزيع السكاني، يحسب التأثير النافع على النحو التالي:



ويظهر هذا المثال أن الدليل المقترح للتأثير النافع هو أداة قياس حساسية فيما يتعلق باستراتيجيات إعداد أنظمة الإذاعة التلفزيونية في المنطقة الجغرافية المعنية.

## 3.3 تحديد عامل استعمال الطيف في أنظمة الإذاعة التلفزيونية

يتحدد هذا العامل بدراسة التقييدات التي تفرضها المحطة التلفزيونية القائمة فيما يخص استعمال الطيف في محطات جديدة. وعندما تكون المحطة التلفزيونية واقعة في وسط المنطقة *i*، يمكن لهذه التقييدات أن تبلغ العدد الإجمالي *Ki* للقنوات التلفزيونية المرفوضة في هذا الجزء من المنطقة لأسباب المواءمة الكهرمغناطيسية مع المحطات التلفزيونية القائمة. وقد ترتبط أيضاً بالعلاقة ، حيث *K* هو العدد الإجمالي للقنوات التلفزيونية. وتُعتبر شروط المواءمة الكهرمغناطيسية غير مستوفاة في قناة تلفزيونية عندما تمنع التداخلات الضارة التي يسببها مرسل تلفزيوني قديم واحد أو أكثر فيها الأداء العادي للمستقبلات المصاحبة للمرسل التلفزيوني الجديد، أو إذا سبّب المرسل التلفزيوني الجديد أثناء إرساله للإشارات بتردد هذه القناة تداخلات غير مقبولة في المستقبلات أثناء عملها مع مستقبلات تلفزيونية قديمة، بما فيها تلك العاملة في قنوات تلفزيونية أخرى. وينبغي اعتبار التداخلات في نفس القناة أو في القنوات المتجاورة هيتروداينية ومترافقة.

ونظراً إلى أن التقييدات تتعلق بالموقع الافتراضي للمستقبل التلفزيوني الجديد، فهناك عدة نتائج يمكن تبسيطها باعتبار التقييدات الحاصلة لعدة مواقف في المنطقة المعنية وإجراء الحساب الملائم. وينطوي الحل الأفضل على حساب المتوسط المرجّح للتقييدات في جميع المواقع الافتراضية للمرسل الجديد باستعمال نسبة عدد السكان المقيمين في كل موقع كعامل تعديل ترجيحي. وهكذا يكون بالإمكان الإقرار بأن كمية الطيف المخصصة للأنظمة التلفزيونية تزداد بازدياد الكثافة السكانية المحلية، وثانياً، العمل على اتساق الدليلين *M* و*U* المستخدمين في تقييم استعمال الطيف. ويمكن عندئذٍ حساب عامل استعمال الطيف باستخدام المعادلة التالية:

 (47)

حيث:

: كمية النطاقات المرفوضة للمستقبل التلفزيوني الجديد المفترض في وسط الجزء *i* من المنطقة.

## 4.3 حساب الكفاءة SUE في أنظمة إذاعية تلفزيونية

يوصى لتقييم كفاءة استعمال الطيف في الأنظمة الإذاعية التلفزيونية باتباع الخطوات التالية:

- تقسيم المنطقة الجغرافية إلى أجزاء تتراوح مساحتها بين 3 و5 2km.

- حساب النسبة α*i* من إجمالي السكان المقيمين في الجزء *i* من المنطقة.

- تحديد نصف القطر *Rs* في مناطق خدمة مرسلات الأنظمة التلفزيونية القائمة تبعاً لخصائص التقنية.

- حساب المسافة *Rij* بين وسط كل جزء *i* من المنطقة ومرسلات الأنظمة القائمة.

- تحديد في كل جزء من أجزاء المنطقة، عدد المرسلات التلفزيونية القديمة وموقعها في منطقة الخدمة بمقارنة *Rs* مع *Rij*.

- تعميم هذه النتائج على أجزاء المنطقة وحساب التأثير النافع باستعمال المعادلة (46).

- إجراء محاكاة مرسل نظام جديد في وسط المنطقة المعنية وحساب نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند مدخل المستقبلات أثناء اتصالها بالمرسلات التلفزيونية (القديمة والجديدة).

- تحديد نطاقات الترددات التي لا تتأمن فيها المواءمة الكهرمغناطيسية بين المرسل التلفزيوني الجديد والمستقبلات التي تتصل بها من جهة، وبين المرسلات التلفزيونية القديمة والمستقبلات التي تعمل معها من جهة أخرى.

- تعميم الناتج على أجزاء المنطقة وحساب عامل استعمال الطيف باستخدام المعادلة (47).

ويمكن عرض نتائج التقييم على شكل مخططات تبين قيم التأثير النافع ودليل استعمال الطيف في المنطقة موضوع الدراسة (الشكل 16) أو على شكل قيمة متوسطة بالنسبة إلى مجمل المنطقة.

## 5.3 ملاحظات تتعلق بتقدير الكفاءة SUE في أنظمة إذاعية صوتية

كثيراً ما تستعمل الأنظمة الإذاعية الصوتية والأنظمة الإذاعية التلفزيونية الطيف بطرق متماثلة. وتُعزى بعض الاختلافات إلى أن عدداً كبيراً من المستعملين النشيطين نسبياً لأنظمة الإذاعة الصوتية أفراد يقتنون سيارات خاصة أو ركاب في سيارة عمومية. وبالتالي من المستصوب عند حساب التأثير النافع ودليل استعمال الطيف مراعاة أن عدداً كبيراً من مستعملي خدمات الإذاعة يتواجد على الطرقات الكبيرة السريعة.

وكما هو الحال في الأنظمة التلفزيونية، يقترح حساب التأثير النافع على شكل متوسط عددي *km* لبرامج الإذاعة الصوتية التي يستطيع مستعمل ما أن يستقبلها في منطقة معينة. وكذلك ينبغي حساب عامل استعمال الطيف كمتوسط ترجيحي للعدد المقدّر من النطاقات المرفوضة لنظام إذاعة صوتية جديد بسبب عدم التقيد بشروط المواءمة الكهرمغناطيسية المطبقة على الأنظمة القائمة.

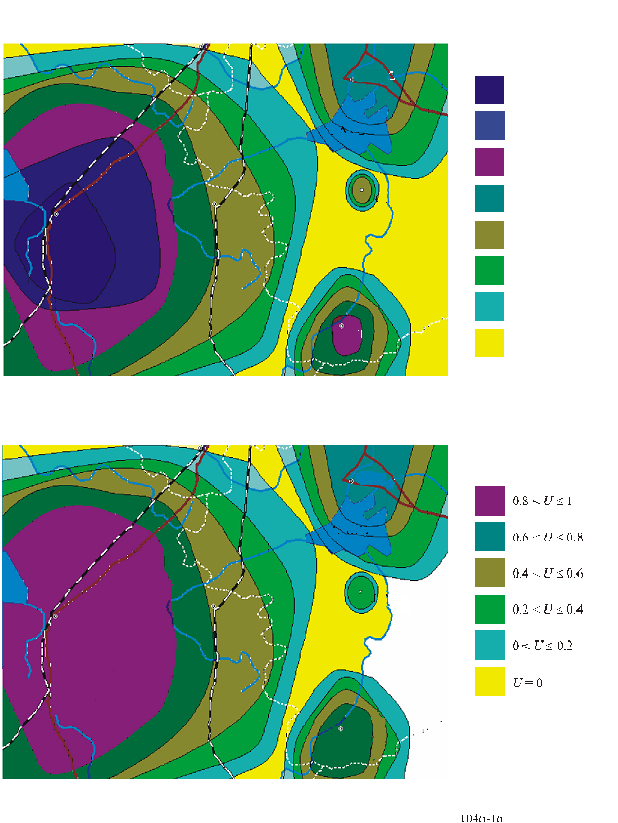
أما تقييم عامل استعمال الطيف في نظام إذاعة صوتية فيخضع للشرطين التاليين:

- تعادل أجزاء المنطقة التي تحتوي على الطرقات الرئيسية مناطق مدن (بسبب وجود مستخدمي خدمات الإذاعة الصوتية) وتتحدد العوامل α*i* ذات الصلة بناءً على ذلك.

- تراعى في حساب عامل استعمال الطيف مجموعات نطاقات غير متواءمة معروفة في أنظمة الإذاعة الصوتية. وهكذا يكون من الضروري مراعاة أن أنظمة الإذاعة الصوتية قادرة على العمل في نطاق ترددات مشتركة دون تدخل في القنوات الهيتروداينية والمترافقة.

الشـكل 16

تقيم مقدار استعمال الطيف

****

مخططات التأثير النافع *M*

مخطط دليل استعمال الطيف *U*

دليل عام: SUE =(*M* = 3,2 برنامج، *U* = 0,4)

7 برامج

4 برامج

3 برامج

برنامجان

برامج واحد

0 برنامج

6 برامج

5 برامج

**المدينة 2**

**البحيرة**

**المدينة 1**

**المدينة 3**

**المدينة 2**

**المدينة 4**

**المدينة 4**

**المدينة 1**

**المدينة 3**

**البحيرة**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. \* أدخلت لجنة الدراسات 1 لقطاع الاتصالات الراديوية تعديلات على هذه التوصية في عام  2011وفقاً للقرار ITU‑R 1‑5. [↑](#footnote-ref-1)