

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R SM.1046-2
(2006/05)

تحديد استخدام الطيف و كفاءة
النظام الراديوي

السلسلة SM
إدارة الطيف

تمهيد

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 مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجميعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

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

النشر الإلكتروني

جنيف، 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).

* التوصية ITU-R SM.1046-2

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 والمستقبلات 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؛
- هـ) 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 بالأبجى 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 الكهرومغناطيسية المعنية.

* أدخلت لجنة الدراسات 1 لقطاع الاتصالات الراديوية تعديلات على هذه التوصية في عام 2011 وفقاً للقرار ITU-R 1-5.

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:

$$(1) \quad U = B \cdot S \cdot T$$

حيث:

B : عرض نطاق التردد

S : الفضاء الهندسي (منطقة عموماً)

T : الوقت.

وقد يكون الفضاء الهندسي المعني حجماً أو خطأً (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 أنياً 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 المستقبلات فقط. وبمجرد 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.

والمستقبلات تستخدم الفضاء الطيفي لأنها تنكره على المستقبلات. وبمجرد 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 المستقبلات 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 الوحدات 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:

$$(2) \quad SUE = \{M, U\} = \{M, B \cdot S \cdot T\}$$

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:

$$(2a) \quad SUE = \frac{M}{U} = \frac{M}{B \cdot S \cdot T}$$

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،

$$(3) \quad RSE = SUE_a / SUE_{std}$$

حيث:

RSE : الكفاءة النسبية للطيف = نسبة SUEs

SUE_{std} : كفاءة استخدام الطيف (SUE) لنظام "معياري"

SUE_a : 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 واللا نهاية. 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، اتصالاً مطلوباً، وفق العلاقة التالية:

$$C_0 = F_0 \ln(1 + \rho_0)$$

حيث:

F_0 : عرض نطاق الاتصال المطلوب

ρ_0 : نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند خرج المستقبل.

وإذا ساوت نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند دخل المستقبل نسبة الحماية ρ_s وساوى عرض نطاق قناة الاتصال التي ترسل الإشارات عبرها F_m ، فحينئذ تكون مقدرة الاتصال $C_p = F_m \ln(1 + \rho_s)$. ويجب أن تتجاوز، أو على الأقل أن تساوي، مقدرة اتصال القناة التي يستقبل المشترك عبرها، اتصالاً مطلوباً أي، $C_0 \geq C_p$. ومن ثم، تعرف أدنى قيمة ممكنة لنسبة الحماية ρ_s التي يستقبل عندها المشترك اتصالاً بنسبة إشارة إلى ضوضاء مساوية لـ ρ_0 ، على النحو التالي:

$$(4) \quad \rho_s = (1 + \rho_0)^{F_0/F_m} - 1$$

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 المستقبلات 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

أمثلة

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 900 MHz و 60 GHz، يمكن أيضاً استقاؤها باستخدام المعادلة (2). فمن هذه المعادلة يمكن تعريف كفاءة طيف أي نظام راديوي بيكو خلوي داخلي على النحو التالي:

$$(5) \quad \text{عرض النطاق} \times \text{المساحة} / \text{إرلنغ}$$

حيث إيرلنغ هي حركة الصوت الكلية المحمولة في نظام بيكو خلوي، و عرض 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 إيرلنغ 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:

$$2 \times \text{عدد القنوات لكل خلية} \times \text{عدد الخلايا لكل طابق} \times \text{عدد الطوابق الفاصلة}$$

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

ويمكن، حينذاك، حساب كفاءة الطيف $SUE_{building}$ ، للنظام الذي يوفر التغطية للمبنى باستخدام المعادلة (5):

$$(6) \quad \frac{\text{مجموع الحركة المحمولة في المبنى بأكمله}}{\text{العدد الإجمالي للقنوات} \times \text{عرض نطاق القناة} \times \text{مجموع مساحة الطابق}} = SUE_{building}$$

مثال:

في هذا النظام المترلي العامل بتردد 900 MHz

25 kHz	عرض نطاق قناة (نصف مزدوجة)
10	عدد القنوات لكل خلية
4	عدد الخلايا لكل طابق
3	عدد الطوابق الفاصلة
120	العدد الإجمالي للقنوات اللازمة

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

$$(7) \quad \frac{16 \times \text{عدد الطوابق}}{0,025 \times 120 \times \text{مجموع مساحة الطابق}} = SUE_{building}$$

إذا كان الطابق 25 متراً \times 55 متراً، فإن $E = 3880 \text{ km/MHz}^2 = SUE_{building}$.

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:

$$2 \times \text{عدد القنوات لكل مبنى} \times \text{عدد المباني في كل حشد}$$

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

ويمكن حينذاك حساب كفاءة الطيف، SUE_{area} للنظام الذي يوفر التغطية لكامل المساحة في وسط المدينة، باستخدام المعادلة (5):

$$(8) \quad \frac{\text{مجموع الحركة في كامل المساحة}}{\text{العدد الإجمالي للقنوات} \times \text{عرض نطاق القناة} \times \text{مجموع مساحة الخدمة}} = SUE_{area}$$

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

في هذا النظام الداخلي العامل بتردد 900 MHz

120	عدد القنوات لكل مبنى
4	عدد المباني في كل حشد
25 kHz	عرض نطاق القناة نصف المزدوجة
480	العدد الإجمالي للقنوات اللازمة

$$(9) \quad \frac{16 \times \text{عدد الطوابق} \times \text{عدد المباني}}{0,025 \times 4 \times 120 \times \text{مجموع مساحة الطوابق}} = SUE_{area} \quad \text{km/MHz/E } 970^2$$

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 تربيعة 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.

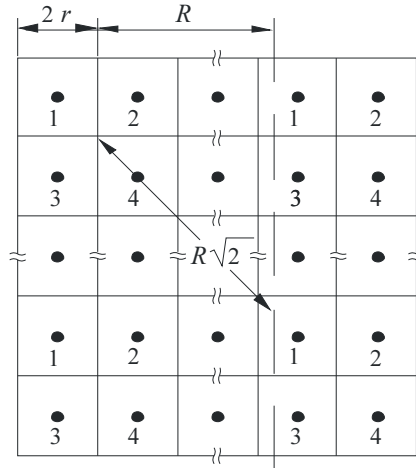
وفي هذا النموذج يكون لكل مرسلات المحطات الأساسية نفس القدرة وموجة حاملة ثابتة وهي لا تنتج أي إشعاع هامشي خارج النطاق ويكون لمستقبلات المحطة القاعدة خصائص انتقائية مثالية.

وتقدم في الشكل 2 نتائج حسابات الكفاءة RSE من أجل عدة أنماط خاصة للتشكيل وعدة نسب إشارة إلى الضوضاء عند خرج المستقبل p_0 وتكون الأنماط المأخوذة بعين الاعتبار للتشكيل:

- تشكيل الاتساع - نطاق جانبي وحيد (AM-SSB)،
- تشكيل التردد (FM)،
- 4 (8) طور الإبراق (4 (8) PSK)،
- الحالة 16 من تشكيل الاتساع التربيعة (16-QAM).

الشكل 1

نموذج الشبكة



1046-01

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 3-662 (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.

$$(10) \quad SUE = \frac{M}{B \cdot S \cdot T} = \frac{Occ}{B \cdot S}$$

حيث:

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

S : الميدان قيد الدراسة،

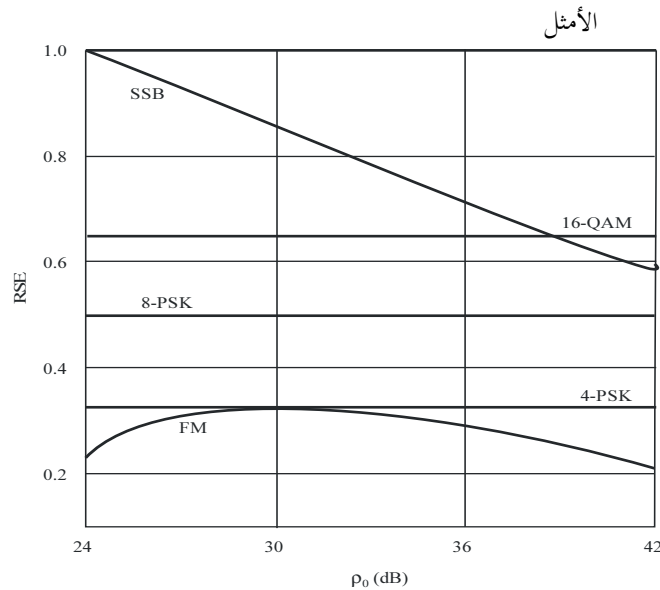
Occ : الانشغالية الإجمالية في الميدان

= 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 المرسله 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.

الشكل 2

الكفاءات RSE في شبكة ما مع أنماط تشكيل مختلفة



في هذا المثال تمثل المنطقة الجغرافية البالغة 76 km على 76 km حسيباً على أنها مصفوفة قيم خلية. وتعرف كل خلية على أنها منطقة مكونة من 2 km × 2 km. 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 F_n مجموع انشغالية الخلية من كل المحطات n في المنطقة، عندها تبين Occ على النحو التالي:

$$(11) \quad Occ = \sum_0^m F_n$$

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 .

$$(12) \quad \text{Cell index} = \frac{F_n}{B \cdot a}$$

$$(13) \quad \text{Average index} = \frac{Occ}{B \cdot S}$$

1.3.1 حساب مؤشر الطيف المشغول والمرفوض

في هذا التحليل يجري 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:

$$(14) \quad d = \text{anti log} \left[\frac{(P_t + G_r - P_{ibm} - OCR(\Delta f) - 26.16 \log f + 13.82 \log h_t + 1.1 \log f - 0.7)h_r - (156 \log f - 0.8)}{44.9 - 6.55 \log h_t} \right]$$

حيث:

P_t : (dBW) e.i.r.p.

G_r : كسب هوائي الاستقبال (dB)

P_{ibm} : متوسط القدرة المستقبلية عند المحطة المتنقلة (dBW)

OCR : النبذ خارج القناة

f : تردد المرسل (MHz)

h_t : ارتفاع هوائي المحطة القاعدة (m)

h_r : 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 $P_{ibm} - 128$ dBW وتساوي $OCR(\Delta f)$ 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 P_{ibm} تبلغ -145 dBW كما يجب أن تستخدم عدة قيم من أجل $OCR(\Delta f)$. واستناداً إلى قناع الإرسال خارج النطاق تكون القيم المستخدمة من أجل عامل OCR (dB) عند تخالف القناة Δf (kHz):

Δf	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 21,9 km. وتكون المسافات المقابلة المرفوضة من أجل $\Delta f = 0$ ، $25 \pm$ kHz و $50 \pm$ kHz وما يتجاوز 69,2 km و 1,5 km و 1,3 km على التوالي.

2.3.1 النتائج

من أجل بيان منهجية حساب الكفاءة SUE أعطيت نتيجة المنطقة البالغة 5 776 km² حول مركز 10 مدن كندية في النطاق 138-174 MHz 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 138-174 MHz بالموجات VHF والنطاق 406-430 MHz و 450-470 MHz بالموجات UHF. وتبلغ مباعدا القناة من أجل الموجات VHF 30 kHz وتبلغ 25 kHz من أجل UHF.

الجدول 1

مؤشرات الطيف المشغول والمرفوض (138-174 MHz)

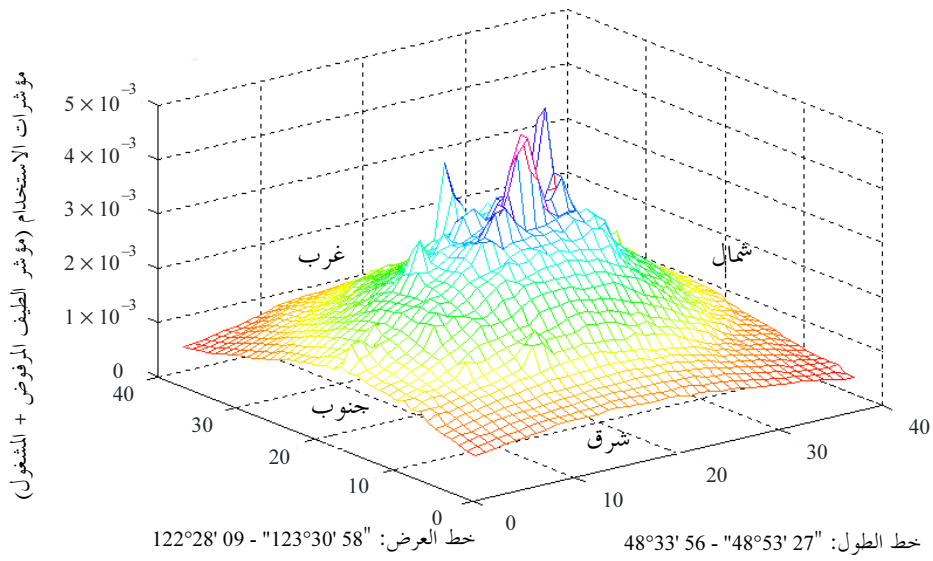
مؤشر الطيف المشغول	مؤشر الطيف المشغول/المرفوض	$E/\text{kHz}/\text{km}^2 \times 10^{-3}$
1,33	4,19	Toronto
1,30	4,54	Ottawa
0,87	3,68	Windsor
0,88	3,56	Montreal
0,65	3,24	Saint John
0,68	3,32	Halifax
0,62	3,20	Vancouver
0,74	3,31	Winnipeg
0,73	3,05	Calgary
0,60	2,99	Edmonton

وتمثل كذلك النتائج البيانية الخاصة بمدينة Vancouver في النطاق 138-174 MHz. ويبين الشكل 3 ترقية 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 $1,7 \times 10^{-3} \text{ km}^2/\text{kHz}/E$ التي تقع شمال وغرب المركز المتوسط كما يظهر ذلك في الشكل 5. وتمثل هذه المنطقة الوسط التجاري لمدينة Vancouver.

الشكل 3

التمثيل ثلاثي الأبعاد لمؤشر الطيف المشغول/المرفوض لمدينة Vancouver

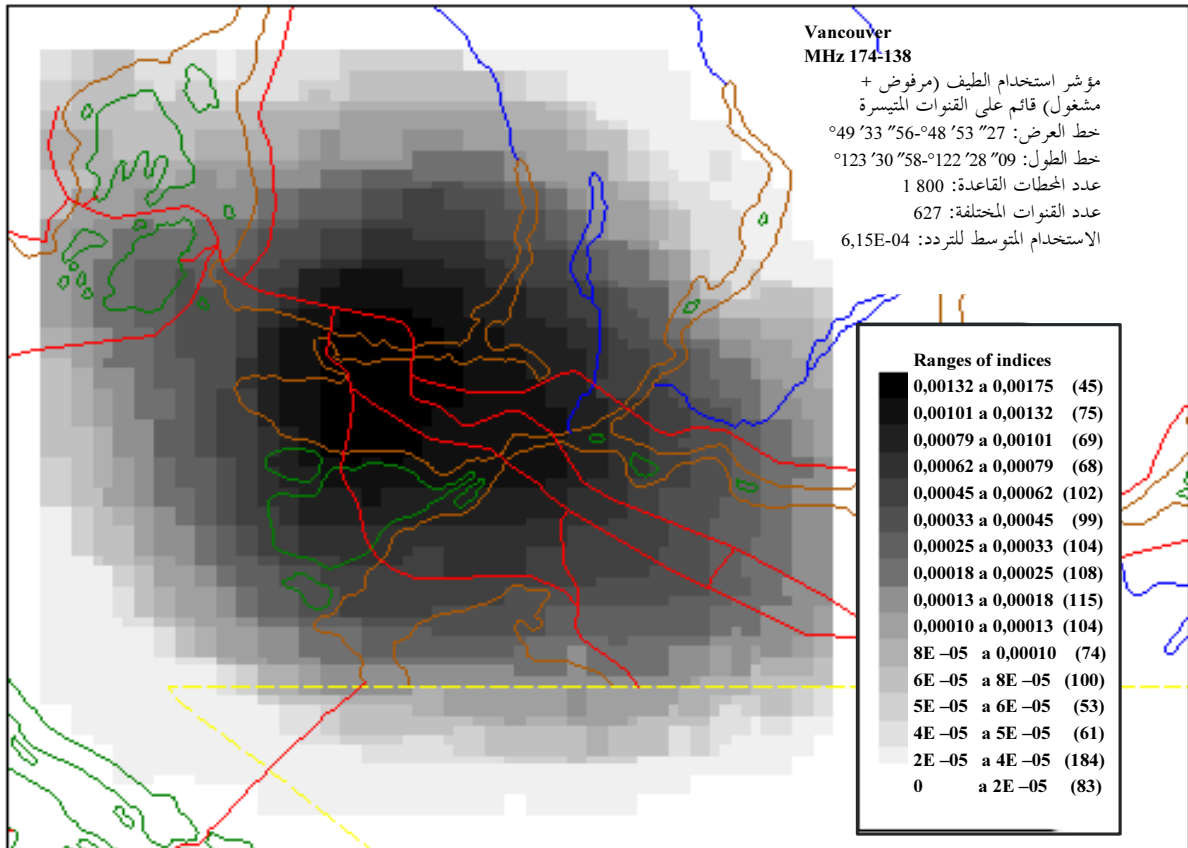
استناداً إلى القنوات المتوفرة - Vancouver : 174-138 MHz



1046-03

الشكل 4

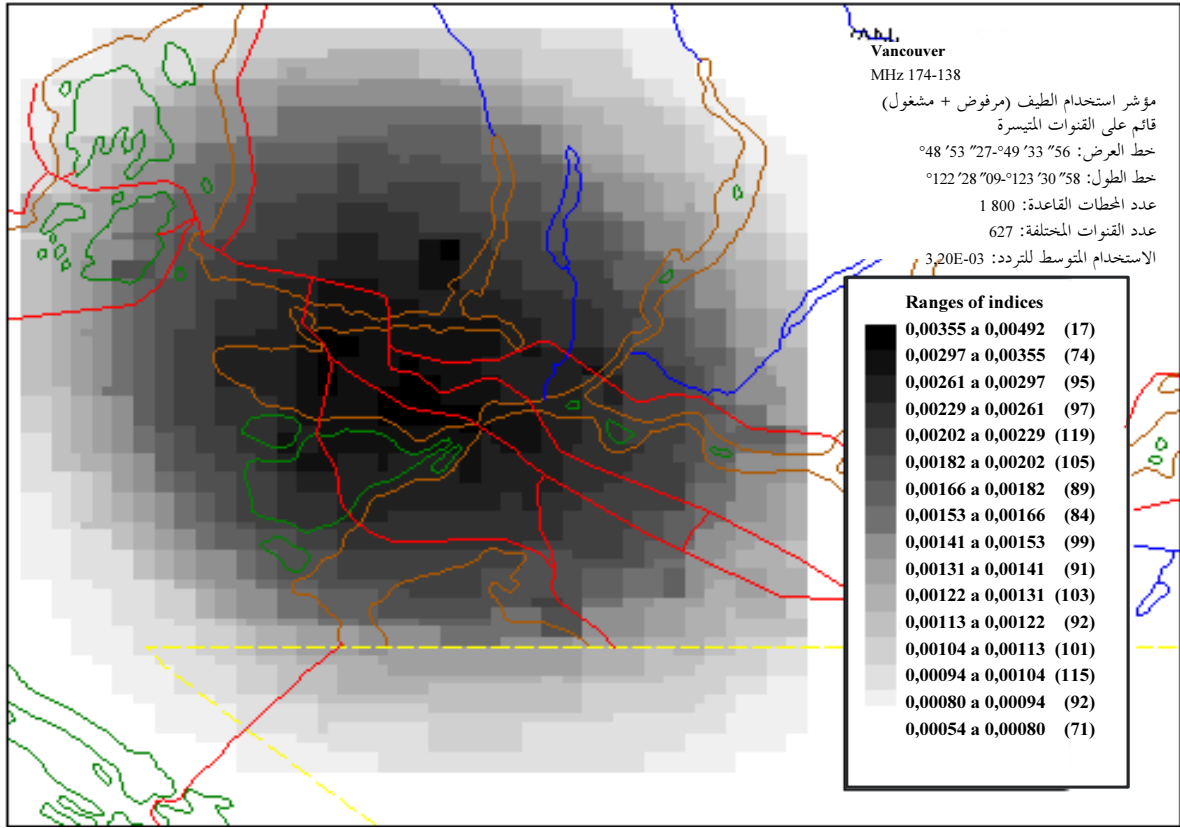
التمثيل ببعدين لمؤشر الطيف المشغول في مدينة Vancouver



1046-04

الشكل 5

التمثيل ببعدين لمؤشر الطيف المشغول والمرفوض في مدينة Vancouver



1046-05

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:

$$(15) \quad SUE = \{M, U\}$$

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. ويعرّف التأثير النافع على أفضل وجه باستخدام كميّتين هما: الحركة الكليّة الناتجة داخل حدود منطقة الخدمة E والحجم النسبي لمنطقة الخدمة المعطى في النسبة $S_p/S_r = S_p/S_r$ ، حيث S_p و S_r هما منطقة خدمة النظام المعني والمساحة الكلية للمنطقة الجغرافية ذات الصلة على التوالي. ويمكن حساب التأثير النافع باستعمال المعادلة التالية:

$$(16) \quad M = E \cdot S_p$$

ومن الواضح أنه عندما تكون قيمة S_s أقل بكثير من S ($S_s \approx 0$)، 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 المولدة 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: $\cup S_j = S_s$ ، حيث S_j 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، $N_a/N = N_r$ ، حيث N_a و N_r هما على التوالي عدد المشتركين وعدد سكان المنطقة الجغرافية المعنية. وتكون عندئذ المعادلة التي تتيح حساب التأثير النافع على النحو التالي:

$$(17) \quad M = N_r \cdot S_r$$

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 ($N_a = N$) إلى الخدمة في مجمل المنطقة ($S_s = S$): 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 تكون هذه التقييدات العدد الإجمالي K_i من نطاقات الترددات المرفوضة بسبب عدم تقييدها بالموائمة الكهرمغناطيسية.

وقد تعادل أيضاً النسبة $\frac{K_i}{K} = U_i$ ، حيث K هو العدد الإجمالي لنطاقات الترددات التي يسمح لأنظمة الاتصالات المتنقلة من النوع المعني باستعمالها. ويعتبر أن شروط الموائمة الكهرمغناطيسية غير مستوفاة في تردد ما إذا كان المرسل في محطة قاعدة واحدة أو أكثر (من إجمالي J محطة قاعدة) يسبب تداخلات غير مقبولة في مستقبل 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:

$$(18) \quad U = \sum_{i=1}^I \alpha_i U_i$$

حيث:

I : عدد أجزاء المنطقة الجغرافية

$\alpha_i = \frac{n_i}{N}$: نسبة مجمل عدد السكان في الجزء رقم i

n_i : عدد السكان المقيمين في الجزء رقم i

U_i : نسبة نطاقات التردد التي قد ترفض محطة قاعدة واقعة في مركز الجزء i من المنطقة بسبب عدم المواءمة الكهرمغناطيسية.

4.4.1 حساب كفاءة استعمال الطيف

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

- تجزئة المنطقة الجغرافية إلى أقسام يتراوح طول ضلعها بين 1 و 4 km.
- حساب أنصاف الأقطار (R_i) مناطق الخدمة الخاصة بالمحطات القاعدة القائمة في نظام الاتصالات المتنقلة R_j .
- حساب المسافة (R_{ij}) 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 R_{ij} و R_j .
- 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 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:

$$(19) \quad SUE = \frac{C}{B \cdot S_\alpha}$$

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:

$$(20) \quad SUE = \frac{N \cdot A}{B_c}$$

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 التفرع).

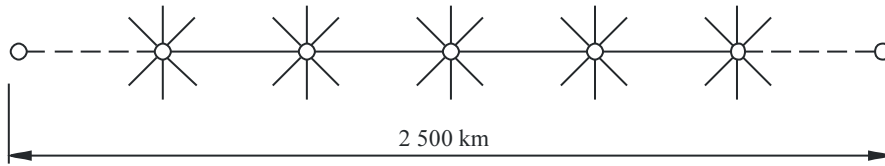
وقد حسبت كفاءة استخدام الطيف في نظام أرض للترحيل الراديوي المباشر، بالنسبة للإرسال الهاتفي باستخدام الصيغة المذكورة أعلاه.

والافتراضات المستخدمة هي:

- أن الإشارة الهاتفية ترسل؛
- احتمال الخبو هو نفسه الاحتمال الوارد في التوصية ITU-R P.530؛
- طول الدارة هو 2 500 km؛ ونموذج الدارة كالمبين في الشكل 6؛

الشكل 6

نموذج الدارة



1046-06

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

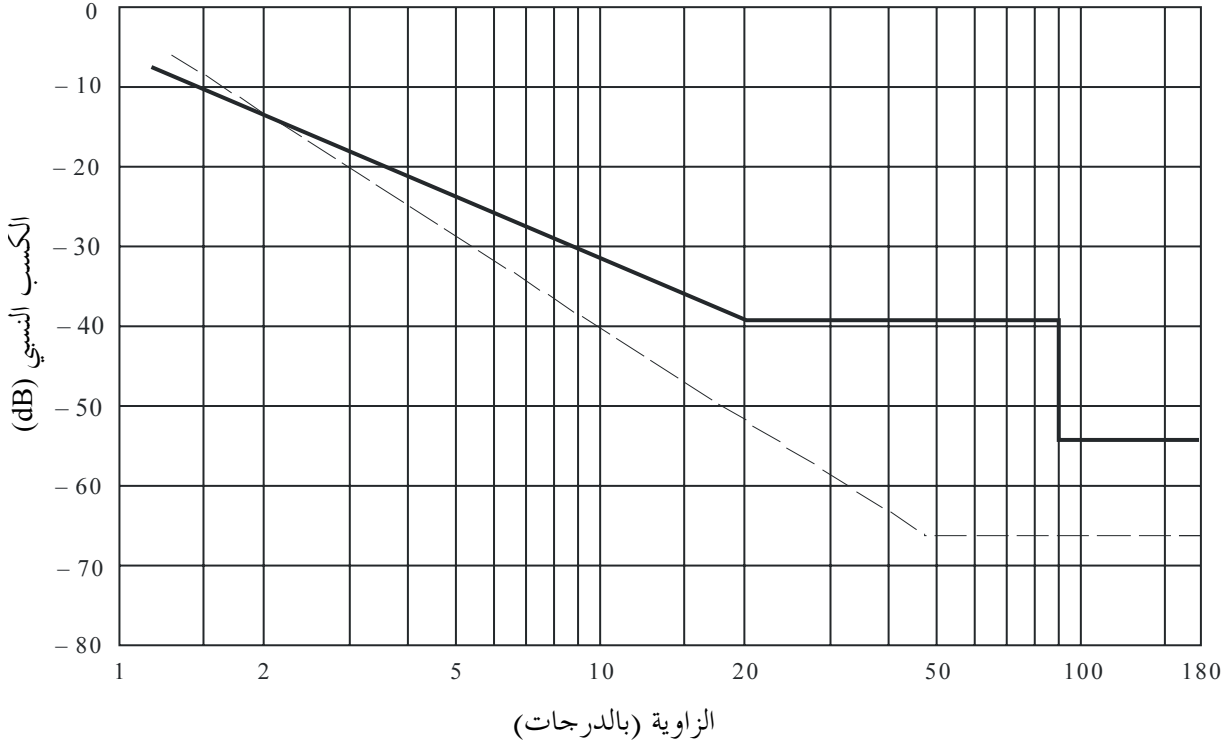
$$(21) \quad C/N = 10 \log [(2^n - 1) / 3] + 11.8 \quad \text{dB}$$

حيث n هي n -state QAM

- عُشر ضوضاء الدارة الكلية للترحيل الراديوي للدارة 2 500 km 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 الصغيرة الرقمية، على النحو المبين في الشكل 7؛
- وصلات بزوايا تفرع عشوائية.

الشكل 7

مخطط الهوائيات



———— المخطط التمهيدي المرجعي ITU-R
 - - - - - مخطط هوائي التعويض ثلاثي العكس

1046-07

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 فأبي 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

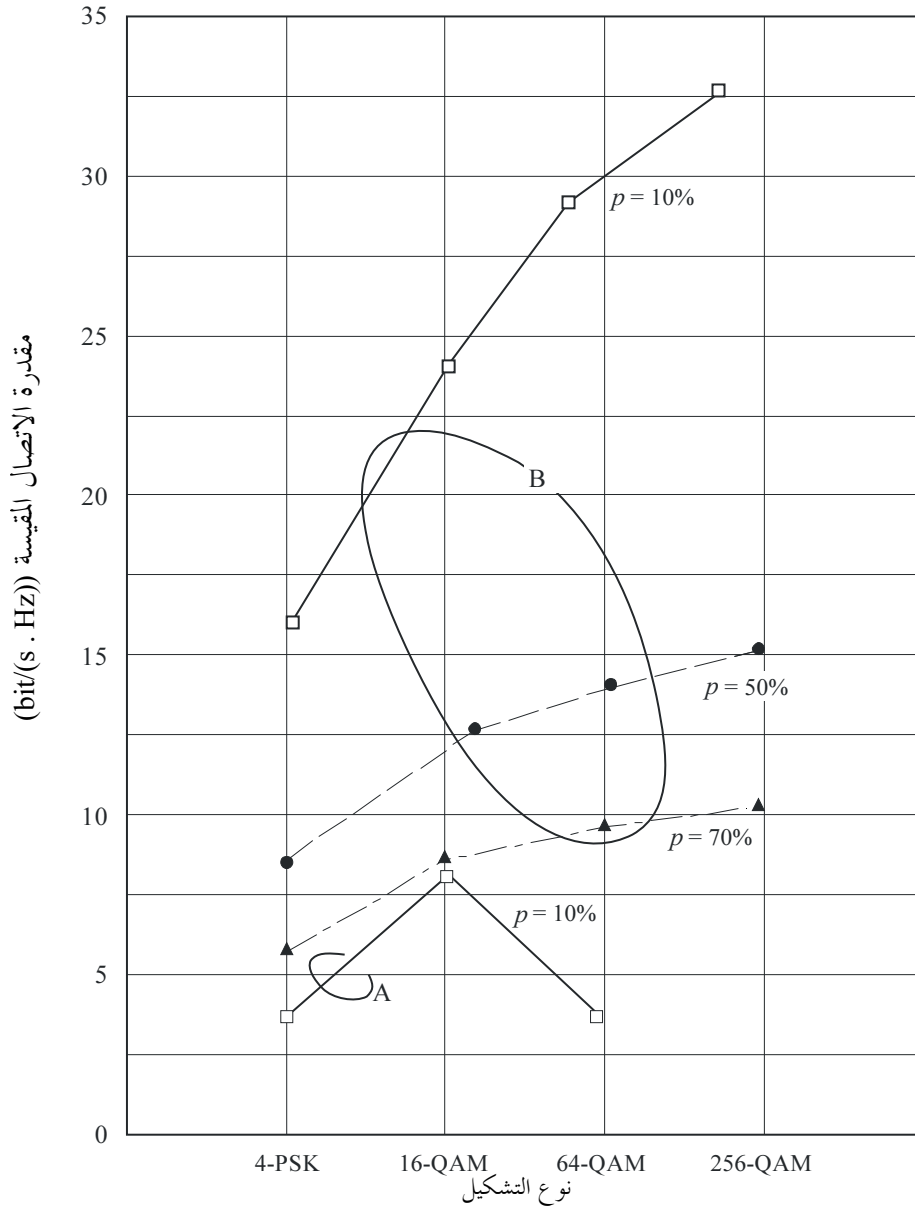
1.3.2 التكوين

يبين الشكل 9 وصلة ترحيل راديوي Y - X مع محطة راديوية أخرى Z تشغل على نفس التردد. والمخطة Z موضوعة عشوائياً في دائرة حول المخطة Y.

والمخطة Y تستقبل إشارة تردد مرغوبة f_1 من المخطة X. والمخطة Z ترسل إشارة بنفس التردد f_1 في اتجاه اعتباطي.

الشكل 8

مقدرة الاتصال المقيسة

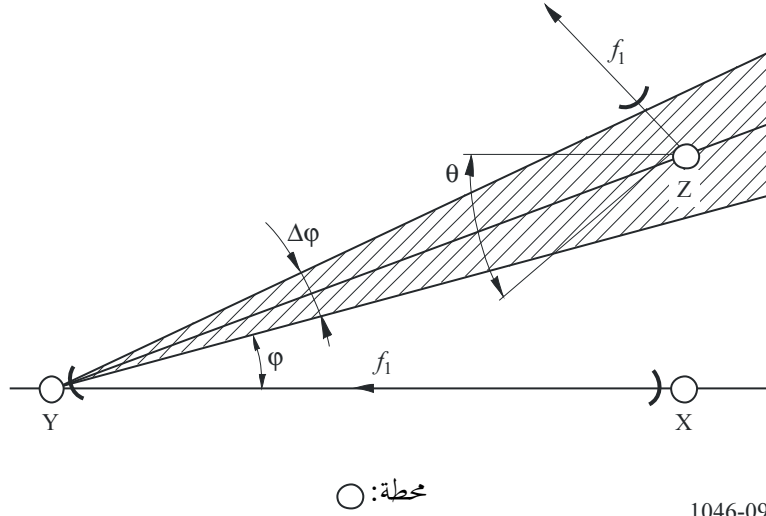


هامش الخنق: dB 20
 مباعدة المكرر: km 50
 سعة القناة: kbit/s 64
 التخصيص للضوضاء الفرعية: 10%

p: احتمال التداخل
 A: مخطط التردد التمهيدي ITU-R
 B: مخطط هوائي التعويض ثلاثي العكس

الشكل 9

التصميم العشوائي



1046-09

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

$$(22) \quad SUE = \frac{N \cdot A}{B_c} = \frac{\bar{p}}{p} \frac{A}{B_c}$$

حيث:

N : عدد الوصلات الراديوية التي يحتتمل أن تستخدم نفس التردد: $\bar{p}/p \approx N$
 A : مقدرة الإرسال لكل قناة راديوية.

والاحتمال p بأن تستقبل المحطة Y تداخلاً يتجاوز الحد المسموح يحسب باعتبار أن جمع مخطط هوائي المحطات Y و Z و \bar{p} 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 2 GHz

كفاءة استخدام الطيف لجميع أنظمة الترحيل الراديوي الأرضي المباشر ذات المقدرة الصغيرة والعاملة في النطاق 2 GHz 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 المجهريّة في الحالات التي تكون فيها وصلات راديوية أخرى عاملة حول محطة المكرر في مواقع عشوائية في منطقة ما.

الجدول 2

معلومات أنماط تشكيل مختلفة في النطاق 2 GHz

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

(1) الكفاءة الصحيحة لكل نمط تشكيل.

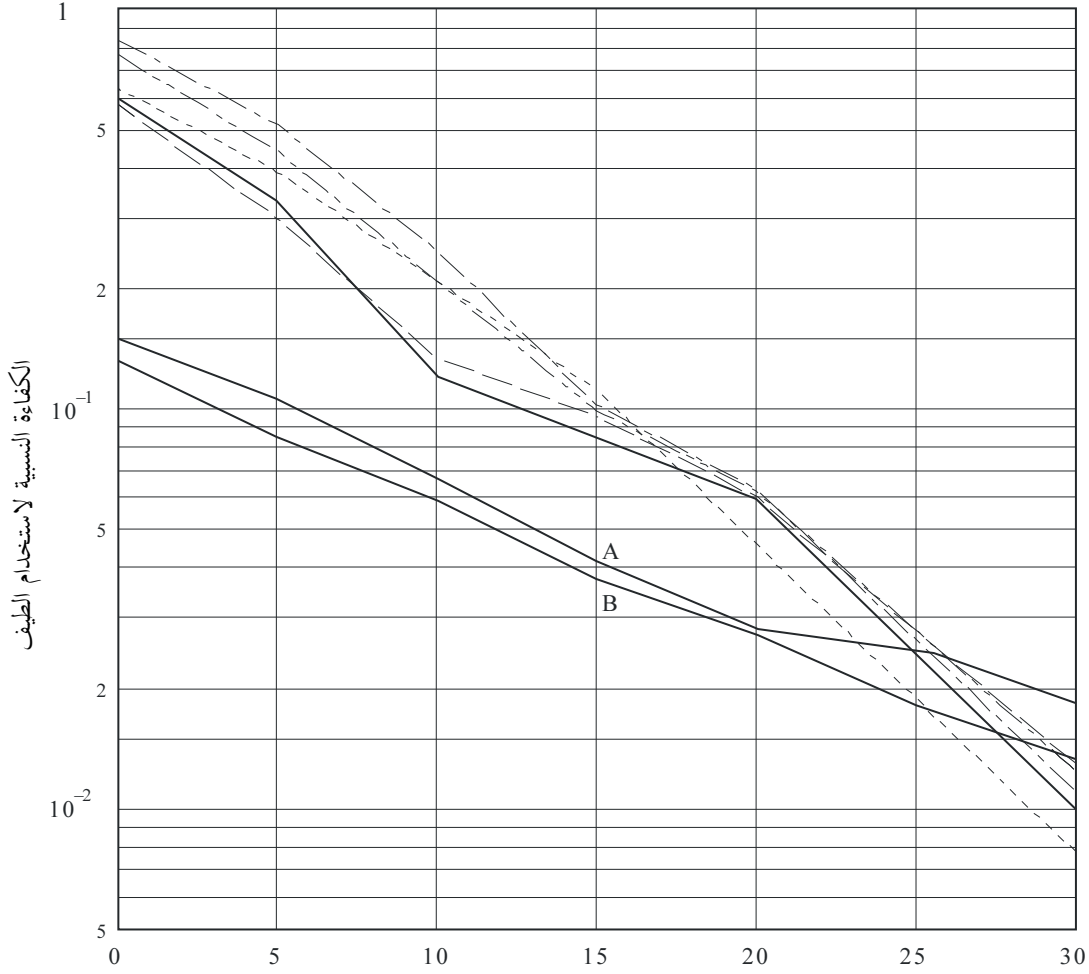
QPRS: تشكيل استجابة جزئية تربيعية.

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 6 dB 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، $0,1 =$.

الشكل 10

كفاءة استخدام الطيف في التصميم العشوائي



هامش الخبو (dB)

نطاق التردد: 2 GHz
السعة: 24 قناة

- 4-PSK (إبراق بزحزة الطور)
- 8-PSK
- 2-PSK
- QPRS (تشكيل استجابة جزئية تريبعية)
- 16-QAM (تشكيل مدى تريبعي من أجل 16 حالة)

المنحنيان A: SSB (تشكيل بالاتساع وحيد النطاق الجانبي)
B: FM (تشكيل التردد)

1046-10

3.3.2 كفاءة استخدام الطيف في شبكة عشوائية

لإجراء مقارنة عادلة لتقنيات التشكيل، يستطيع المرء أن يفترض وجود خطة ترددية مشدرة بمساعدة قنوات مناظرة لخطوط 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 اقترحت توصيات قطاع الاتصالات ITU-R (ومنها مثلاً 140 Mbit/s بتشكيل 16-QAM ومباعدة قنوات 40 MHz بين قنوات باستقطاب متقاطع). وقد تختلف القيم المقاسة عن القيم المحسوبة.

الجدول 3

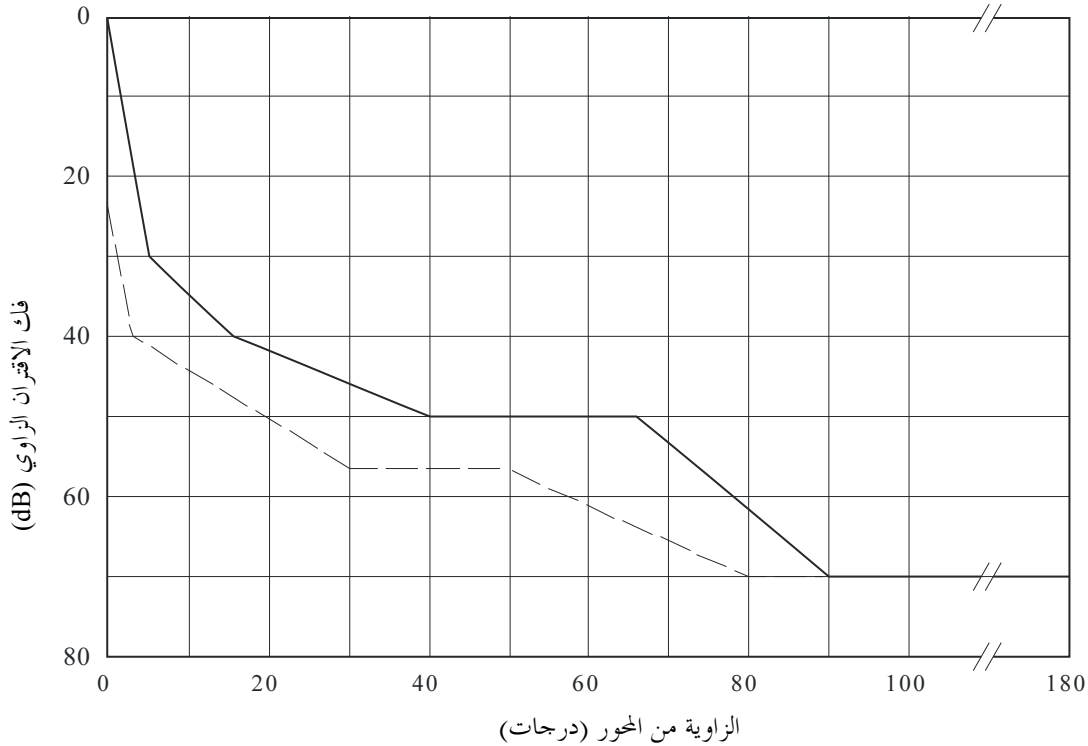
كفاءة الطيف (bit/(s . Hz))	مباعدة القنوات المقاسة X	طريقة التشكيل
2,13	1,88	4-PSK
2,77	2,16	8-PSK
3,59	2,23	16-QAM

- الملاحظة 1 - الانحطاط بسبب تداخل القنوات المجاورة: 0,5 dB .
 - مراشيع القنوات: عطف لجيب التمام المرفوع 0,5.
 - فك الاقتران بين القنوات المتعارضة الاستقطاب (الباقى XPD): 12 dB.

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

الشكل 11

أقنعة إشعاع الهوائيات



الهوائي المكافئ، $75 = D/\lambda$

- استقطاب مشترك
 - - - - - استقطاب متعارض

وعرفت كثافة الشبكة المقيسة γ كما يلي:

$$(23) \quad \gamma = \frac{2N \rho^2}{\text{overall area covered by the network}}$$

حيث:

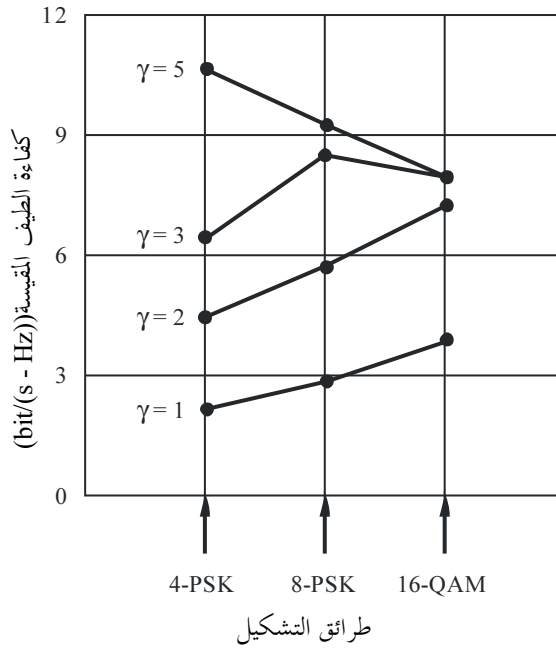
N : عدد العقد الراديوية في الشبكة

ρ : 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.

الشكل 12

كفاءة الطيف في الشبكات المتشابهة



قناع إشعاع الهوائي الوارد في الشكل 11.

انحطاط الأداء بسبب إعادة استخدام التردد: 1 dB

1046-12

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:

$$(24) \quad SUE = VC / (T \cdot A \cdot B)$$

حيث:

VC : عدد القنوات الصوتية

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

A : منطقة الرفض (km^2)

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 وظيفية من خصائص مخطط هوائي النظام. وقدرة خرج المرسل وسوية عتبة تداخل المستقبل.

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 مقطعةً زاوياً يمكن إجراء حساب مساحته بواسطة المعادلة التالية:

$$(25) \quad \text{منطقة المقطع الزاوي} = \pi R^2 \theta / 360$$

حيث:

R : نصف قطر المقطع (R_1, R_2, \dots, R_n)

θ : الزاوية الدوامية للمقطع ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$)

n : عدد المقاطع الزاوية.

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

$$(26) \quad L(R) = P_t + G_t(n) + G_r - I_{max}$$

حيث:

$L(R)$: خسارة الانتشار المطلوبة (dB)

P_t : قدرة خرج الإرسال (dBm)

$G_t(n)$: كسب هوائي الإرسال من أجل القطاع n (dBi)

G_r : كسب هوائي الاستقبال يبلغ -10 dBi

I_{max} : سوية التداخل القصوى المسموح 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 الصغيرة. 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 و 64-QAM و 256-QAM. وإن الخصائص المفترضة من أجل أنظمة المرحل الراديوي لهذا التحليل تقوم على معيار أمريكا الشمالية وتكون على النحو التالي:

معلومات نظام المرحل الراديوي الرقمي (انظر الملاحظة 1):

-	القنوات الصوتية:	1 344 من أجل 16-QAM
		2 016 من أجل 64-QAM
		2 688 من أجل 256-QAM
-	معدل البتات:	90 Mbit/s من أجل 16-QAM
		135 Mbit/s من أجل 64-QAM
		180 Mbit/s من أجل 256-QAM
-	BER:	10^{-6}
-	رقم ضوضاء المستقبل، F :	4 dB
-	كسب النظام، G_s :	103 dB

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 معلومات النظام في هذا التحليل لتوفير دلالة عن تحليل المسير الوحيد لفعالية الطيف من أجل الحالات المختلفة التي تؤخذ في الاعتبار. وبجد ذاتها لا يمكن أن تكون المعلومات 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 معلومات 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 الصغيرة من نقطة إلى نقطة.

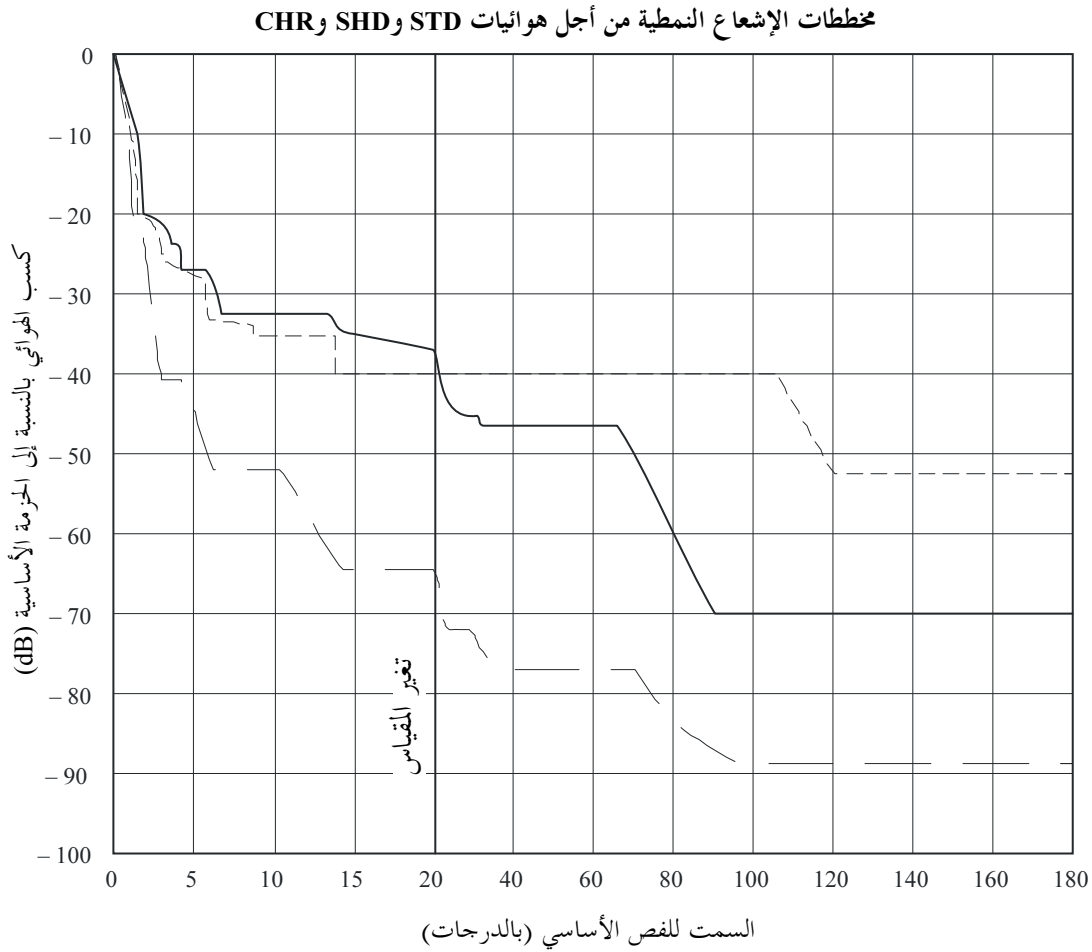
ويمكن أن يتم تحقيق إعادة استعمال التردد بواسطة تنفيذ تقنيات للحفاظ على الطيف عند تصميم الهوائي ويمكن أن يقلل من الرفض المكاني إلى أدنى درجة في حال تم تخفيض سويات الفص الجانبي إلى أدنى درجة كذلك. إن مخططات إشعاع الهوائي وبالتالي توزيعات الفص الجانبي تتغير بتغير نمط الهوائي. وتستخدم عادة ثلاثة أنماط من الهوائيات في إرسال الموجات الصغيرة 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 43 dBi. وقد استخدمت في هذا النموذج خصائص مخطط الهوائي المبينة في الشكل 13.

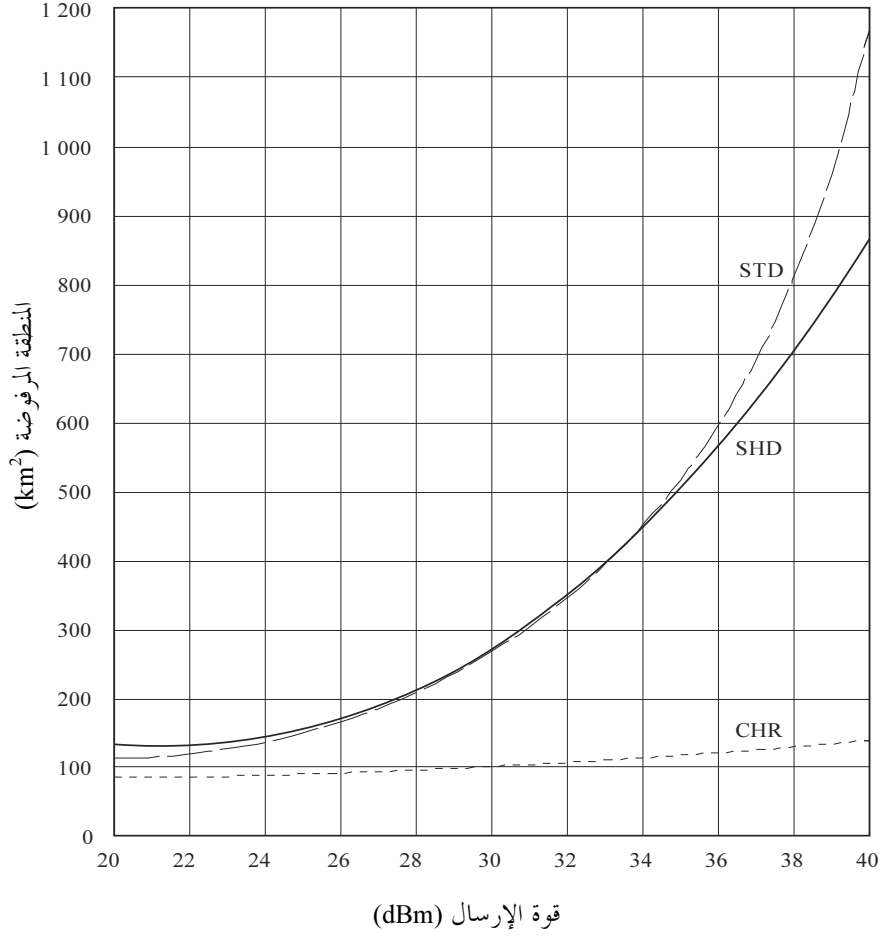
ويبين في الشكل 14 منحني بقدرة خرج المرسل بالنسبة إلى منطقة الخرج لعتبة تداخل المستقبل البالغة -102,5 dBm من أجل الأنماط الثلاثة من الهوائيات. وعلى الرغم من أن كسب الحزمة الرئيسية لكل الهوائيات هو نفسه، فإن النتائج المبينة في الشكل 14 تشير إلى أنه لهوائي العاكس CHR منطقة رفض تكون أقل من الهوائيين الآخرين وكذلك الفرق في منطقة الرفض للهوائيات الثلاثة يكون أصغر لغاية أن تزيد قدرة المرسل عن 30 dBm. 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 30 dBm. وإذا كانت قدرات المرسل أعلى من 30 dBm، يكون الفرق كبيراً للهوائيات الثلاثة. وتعلق منطقة الرفض كذلك بعتبة تداخل المستقبل.

الشكل 13



الشكل 14

المنطقة المرفوضة بالنسبة إلى نمط الهوائي وقدرة خرج المرسل



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

$$\begin{aligned} \text{dBm } 102,5 &= I_{max} \\ \text{dBi } 43 &= G_r \text{ (الحزمة الرئيسية)} \\ \text{dBi } 10 &= G_r \end{aligned}$$

1046-14

بما أن المنطقة المرفوضة للهوائيات الثلاثة تتعلق بكل من I_{max} و P_t 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 و SHD و CHR في فقرة التشكيل.

3.4.2 التشكيل

إن تقييم خصائص الحفاظ على الطيف من أجل خطط التشكيل المختلفة معقد جداً وذلك بسبب تأثير كل من الرفض الطيفي والمكاني بخيار نمط التشكيل المستخدم في النظام. وعموماً فإن معلمات النظام مثل عرض النطاق المشغول والنسبة $(C/N)_r$ المطلوبة لخرج المستقبل I_{max} تتعلق بنمط التشكيل وتؤثر تأثيراً مباشراً على استخدام الطيف.

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

الجدول 4

معلمات النظام الرقمي

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

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

$$(27) \quad B \text{ (MHz)} = \text{معدل البتات (Mbit/s)} / \text{فعالية الإرسال (bit/(s · Hz))}$$

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

ولوضع P_f المطلوبة من أجل كل نمط تشكيل، فد تم تحديد معايير الأداء المحددة للنسبة $(C/N)_i$ المطلوبة وقد استخدم معدل BER يبلغ 10^{-6} على أنه معيار الأداء وقد تم التوصل إلى النسبة $(C/N)_i$ النظرية المطلوبة من الكتب المتخصصة.

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

$$(28) \quad C_{min} \text{ (dBm)} = (C/N)_i + N_i$$

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

$$(29) \quad P_f \text{ (dBm)} = C_{min} + G_s$$

حيث G_s تمثل كسب النظام الذي ضبط كي يساوي 103 dB.

إن المنطقة المرفوضة تتعلق كذلك بمستوى المستقبل المتعرض للتداخل I_{max} ولقد تم تحديد المستوى I_{max} للمستقبل المصاحب لكل تشكيل بافتراض أن المستقبل المتعرض للتداخل يتمتع بنفس نمط التشكيل مثل المرسل المتداخل وفي هذا التحليل، تم تحديد المستوى I_{max} باستخدام المعايير التي وضعتها جمعية صناعة الاتصالات (TIA) في النشر رقم E-10 الخاص بنظام الاتصالات. ومن أجل الأنظمة الرقمية، كانت معايير الأداء زيادة المعدل BER من 10^{-6} إلى 10^{-5} مما يقابل زيادة تبلغ 1 dB في سوية ضوضاء المستقبل. وهذا ما يقابل نسبة $(I/N)_i$ للتداخل/الضوضاء لخرج المستقبل = -6 dB (أي $I_{max} = -96,5 \text{ dBm} - 6 \text{ dB} = -102,5 \text{ dBm}$ من أجل 16-QAM و 64-QAM و 256-QAM).

يحتوي الجدول 5 على القيم SUE التي أجري حسابها باستخدام قدرة خرج المرسل وعرض النطاق في الجدول 1 $I_{max} = -102,5 \text{ dBm}$ وتكون المداخل من أجل SUE في الجدول 5 لأنماط التشكيل الثلاثة المختلفة وللهوائيات الثلاثة. وتكون الأنظمة ذات الفعالية 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 تم مقارنتها بالقيمتين 0,212 و 0,811 من أجل الهوائيين SHD

وCHR على التوالي. وبالتالي، فإن النتائج المبينة في الشكل 5 تشير بشكل واضح إلى إمكانية استمثال الفعالية SUE حين يُؤخذ في الاعتبار كل من آثار وتشكيل الهوائي.

الجدول 5

فعالية استخدام الطيف

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

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 VC 2016 من أجل 64-QAM و 2688 من أجل 256-QAM. ويكون عرض نطاق النظام المطلوب B هو نفسه من أجل كل من 64 و 256-QAM ($B = 22,5$). إلا أن P_t المطلوبة من أجل 256-QAM تكون أكبر بكثير من 64-QAM (9,6 dBm إذا ما قورنت بقيمة 33,5 dBm). 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.

الجدول 6

مقارنة الفعالية SUE بين 64 و 256-QAM للهوائيات SHD

256-QAM	64-QAM	المعلمة
2688	2016	VC
22,5	22,5	B (MHz) (انظر الجدول 4)
39,5	33,5	P_t (dBm) (انظر الجدول 4)
102,5-	102,5-	I_{max} (dBm)
830	421	A (km ²) (انظر الجدول 11)
0,144	0,212	SUE (انظر الجدول 5)

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 ومراسيح 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 P_t التي تتوقف بدورها على التشكيل (انظر الشكل 14). ويبين الجدول 7 النسبة المثوية 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% و533% في الهوائيات SHD وCHR على التوالي.

الجدول 7

تحسن الفعالية SUE من أجل الهوائيات SHD وCHR المتعلقة بالتشكيل

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

4.4.2 معالجة الإشارة

في أنظمة المرحلة الراديوي الثابتة تتم معالجة الإشارة عند أطراف المرسل والمستقبل. وتقوم معالجة الإشارة على العمليات الكهربائية في إشارة ما من أجل إنتاج بعض الخصائص المرغوبة. ويمكن أن تؤثر معالجة الإشارة على معالم مثل الاتساع والتردد والطور وسوية الإشارة والاعتمادية. ويمكن أن يحسن استعمال تقنيات معالجة الإشارة كسب المعالجة في النظام مما يتيح P_t أقل من أجل معايير محددة لأداء خرج المستقبل. وبالتالي وعلى الرغم من استخدام تقنيات معالجة الإشارة، يمكن تخفيض P_t عن طريق تخفيض (المنطقة) المكانية المرفوضة للأنظمة الأخرى. إلا أنه لا بد من الإشارة إلى أن مصممت وصلة الموجة الصغيرة 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 الصغيرة 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) المطلوبة للمستقبل من أجل إيفاء أداء النسبة BER المحددة مما يخفف من منطقة الرفض للأنظمة الأخرى. ويشار إلى التخفيض في النسبة (C/N) 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 عليه في النسبة (C/N) من أجل النسبة BER البالغة 10^{-6} و 10^{-5} المطلوبة بعد أخذ التخفيض الممكن الحصول عليه في النسبة (C/N) في الاعتبار. وقد أدخلت القيم من أجل عرض النطاق والقدرة المبينة 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.

الجدول 8

تصحيح/تشفير الأخطاء (التشكيل 64-QAM)

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

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.

الجدول 9

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

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

6.4.2 المسويات التكميلية/العرضانية

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

الجدول 10

تحسين الفعالية SUE من أجل المسويات التكميلية (التشكيل 64-QAM)

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

من أجل 64-QAM، يمكن أن يحسن استعمال مسويات تكميلية 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 التكميلية

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

الجدول 11

تصحيح تشفير أخطاء الفعالية SUE والمسويات التكميلية (التشكيل 64-QAM)

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

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 نظاماً 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، بته $(Hz \cdot s)$) تتطلب سويات أعلى من أجل P_i 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 المرحلة الراديوي الريفي بقفزة واحدة

لقد تمت مقارنة قيم الفعالية RSE لأنظمة المرحلة 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 8 GHz مع ارتفاعات تعلق هوائيات تبلغ m 45 وقطري هوائي، D يبلغان m 1,5 و m 3,0 وعمليات ذات ترددتين و4 ترددات ($k = 2$ و 4 على التوالي) ونمطي خطة الاستقطاب - مع استخدام نمطي استقطاب ذات ($1P$) و ($2P$) في الشبكة. ومن أجل التشكيل PCM، تعطى المعطيات من أجل 2-PSK ($M=2$) و 4-PSK ($M=4$) ومن أجل قيمة (M_{max}) تضمن قيمة قصوى من أجل الفعالية RSE. وإن الشروط 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 ($8 \leq M_{max}$) وهوائيات بقطر يبلغ 3 أمتار.

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

الجدول 12

الفعالية RSE لوصلات المرحلة الراديوي الريفي بقفزة واحدة

RSE				معلمات التشكيل	خطة التردد	التشكيل
$D = 3,0 m$		$D = 1,5 m$				
2P	1P	2P	1P			
0,285	0,285	0,3	0,27		$K = 2$	FM
0,25	0,25	0,25	0,2		$K = 4$	
0,049	0,055	-	-	$M = 2$		
-	-	-	-	$M = 4$	$K = 2$	
0,055	0,055	-	-	M_{max}		PCM
0,0625	0,0625	0,0625	0,125	$M = 2$		
0,125	0,125	0,125	0,125	$M = 4$	$K = 4$	
0,5	0,25	0,25	0,25	M_{max}		

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)

$$SUE = \{M, U\}$$

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 التأثير 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:

$$M = n_{vc} \cdot D \quad (31)$$

حيث:

M : التأثير النافع الناتج عن استعمال نظام تماثلي من نقطة إلى نقطة
 n_{vc} : 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 المرسل استخدام عامل الفائض على النحو التالي:

$$M = T_{TR} \cdot O_F \cdot D \quad (32)$$

حيث:

M : التأثير النافع الناتج عن نظام رقمي من نقطة إلى نقطة
 T_{TR} : معدل الإرسال الإجمالي للنظام
 O_F : عامل الفائض، وتتراوح قيمته بين 0 و 1
 D : المسافة التي ترسل عبرها المعلومات.

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

$$M = E_{TR} \cdot D \quad (33)$$

حيث:

M : التأثير النافع الناتج عن نظام رقمي من نقطة إلى نقطة
 E_{TR} : معدل الإرسال الفعلي للنظام
 D : المسافة التي ترسل عبرها المعلومات

وإذا تعذر قياس معدل الإرسال الإجمالي أو الفعلي، يمكن استخدام 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:

$$(34) \quad U = B \cdot S \cdot T$$

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 و 1.

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 المستقبل على أساس القيمة الفعلية لمعلمات الوصلة. وتعادل المساحة الهندسية المرفوضة مجموع مساحات القطاعات (A_S) المرفوضة من المرسل والمستقبل. وعندما تضم المنطقة التي يرفضها المرسل كامل المنطقة التي يرفضها المستقبل، يكون من غير الضروري حساب هذه الأخيرة. ويستحسن في الحالات الأخرى إضافة جزء المنطقة المرفوض من المستقبل 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 المستقبل بالرجوع إلى مخطط الهوائي. وبالإمكان حساب المنطقة المرفوضة بجمع مساحات القطاعات الزاوية التي يمكن فيها اعتبار كسب الهوائي شبه ثابت.

$$(35) \quad S = \sum_{i=1}^n A_{S_i}$$

حيث:

S : المساحة الهندسية المرفوضة (بالكيلومترات)

A_{S_i} : المساحة المرفوضة في القطاع i (بالكيلومترات)

n : عدد القطاعات.

ويمكن حساب مساحة قطاع A_S كالتالي:

$$(36) \quad A_S = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \theta}{360}$$

حيث:

A_S : مساحة القطاع (بالكيلومترات المربعة)

R : نصف قطر القطاع (بالكيلومترات)

θ : زاوية القطاع (بالدرجات).

وكقاعدة عامة يتم مبدئياً تحليل كامل محيط منطقة المرسل (360°) 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 لغللاف مخطط إشعاع الهوائي المعني. وبإجراء هذا التبسيط يمكن حساب المساحة الهندسية المرفوضة S كالتالي:

$$(37) \quad S = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \theta_{HP}}{360}$$

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 مستقبل في كل قطاع مسدّد باتجاه المرسل. وكذلك فيما يتعلق بحساب نصف قطر قطاع المنطقة المرفوضة من المستقبل، يفترض وجود مرسل في كل قطاع مسدّد باتجاه المستقبل. ويحسب نصف قطر القطاع كالتالي:

$$(38) \quad R = 10^{A/20}$$

$$(39) \quad A = P_{TX} - L_{CTX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{CRX} - I_{RX} - 20 \log(f) - 32.44 - A_D$$

حيث:

P_{TX} : قدرة الإرسال (dBm)

L_{CTX} : توهين دارة الإرسال (dB)

G_{TX} : كسب هوائي المرسل في مركز فتحة حزمة القطاع (dBi)

G_{RX} : كسب هوائي المستقبل باتجاه المرسل (السمت) (dBi)

L_{CRX} : توهين دارة الاستقبال (dB)

I_{RX} : عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

f : التردد المركزي للتشغيل (MHz)

A_D : توهين الانعراج الإضافي (dB).

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

$$(40) \quad A_D = 10 - \frac{20h}{F_1}$$

حيث:

A_D : توهين الانعراج الإضافي (dB)

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

محبوباً) (m)

F_1 : نصف القطر لأول شكل فرسنييل 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 (I_{RX}) 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 I_{RX} تنتج مباشرة على النحو التالي:

$$(41) \quad I_{RX} = C - C/I_{MAX}$$

حيث:

I_{RX} : سوية عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

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

I_{MAX} : أعلى سوية للتداخل في المستقبل.

الطريقة B

إذا لم تكن قيمة النسبة C/I_{MAX} معروفة، يجب تحديد هامش الحد الأدنى المطلوب من المستقبل من أجل حساب I_{RX} . وفي هذه الحالة:

$$(42) \quad I_{RX} = 10 \log \left[10^{(D+I_{EQ})/10} - 10^{I_{EQ}/10} \right]$$

$$(43) \quad D = D_M - D_S$$

$$(44) \quad D_M = M_C - M_M$$

حيث:

I_{RX} : سوية عتبة التداخل في المستقبل (dBm)

I_{EQ} : سوية التداخل المرجعي محسوبة استناداً إلى النسبة C/I_{MAX} في المستقبل المصاب بالتداخل؛ وتكون C

بالتالي مساوية لحساسية المستقبل (dBm)

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

D_M : أقصى انحطاط مسموح في المستقبل (dB)

D_S : الانحطاط التقديري في المستقبل (dB)

M_M : أقل هامش مسموح به (dB)

M_C : الهامش المحسوب للنظام (dB).

الملاحظة 1 - في حالة النظام العام الذي يتعدّد عليه تحديد الهامش المطلوب بدقة تكون القيمة M_C هي الهامش المناسب للنظام.

الملاحظة 2 - ينبغي تحديد الانحطاط التقديري D_S بحساب التداخل التراكمي الناتج عن الرسائل الأخرى الواقعة قرب المستقبل موضوع الدراسة.

الملاحظة 3 - عند عدم توفر المعلومات المطلوبة عن الأنظمة الأخرى المسببة للتداخل، يتم اعتماد قيمة 3 dB 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 كأتملة لحساب كفاءة استعمال الطيف في الأنظمة من نقطة-إلى-نقطة. كما يمكن حساب التأثير النافع استناداً إلى هذه العناصر.

الجدول 13

معدل الإرسال وعامل الفائض

نطاق الترددات (GHz)	معدل الإرسال الإجمالي (Mbit/s)	العامل O_F في النظام
8,5	(8E1) 17	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).

الجدول 14

معدل الإرسال الفعلي (M)

معدل الإرسال الفعلي (Mbit/s)
15,36

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

الجدول 15

المسافة التي ترسل عبرها المعلومات

المسافة (km)
20,1

ويبين الجدول 16 عرض النطاق الذي يرفضه النظام.

الجدول 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 كأتملة.

الجدول 17

زاوية القطاعات (θ)

عدد القطاعات المعتمد ⁽²⁾	زاوية القطاعات (بالدرجات) ⁽¹⁾
3	10

⁽¹⁾ تعادل تقريباً فتحة نصف قدرة الحزمة لغللاف 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.

الجدول 18

التردد المركزي ومعلمات النظام

⁽¹⁾ f (GHz)	G _{RX} (dBi)	L _{CRX} (dB)	L _{CTX} (dB)	P _{TX} (dBm)
8,45	36,7	4,2	4,4	24,5

⁽¹⁾ التردد المركزي في الجزء الأعلى من النطاق.

(ج) كسب هوائي المرسل (G_{TX})

المعلمة G_{TX} هي كسب هوائي المرسل على طول المحور في قطاع معين. ويبين الجدول 19 القيم المحسوبة G_{TX} لكل قطاع (θ) محدد في الجدول 17.

الجدول 19

كسب هوائي المرسل في كل قطاع*

قطاع الزاوية θ_3	قطاع الزاوية θ_2 ⁽¹⁾	قطاع الزاوية θ_1
G _{TX3}	G _{TX2}	G _{TX1}
14,7	36,7	14,7

* تنتج استناداً إلى غلاف مخطط إشعاع الهوائي.

⁽¹⁾ يعمل على انطباق محور القطاع θ_2 مع محور الفص الرئيسي للهوائي. والقطاعان θ_1 و θ_3 مجاوران للقطاع θ_2 .

تعادل كل قيمة G_{TX} حسب المعادلتين (38) و (39) قيمة R، علماً بأن كسب هوائي المرسل، دون غيره، يتغير في كل قطاع.

(د) عتبة التداخل في المستقبل (I_{RX})

ثمة طريقتان لحساب عتبة التداخل في المستقبل وهما: حساب العتبة مباشرة استناداً إلى النسبة C/I_{MAX} 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/I_{MAX} و I_{EQ}، محسوبة استناداً إلى خصائص التجهيزات. وتستخدم هذه القيم في المعادلة (42).

الجدول 20

قيم المعلمتين I_{EQ} و C/I_{MAX}

I_{EQ} نظام I ⁽¹⁾ (dBm)	C/I_{MAX} (dB)
105,0-	17,0

⁽¹⁾ تنتج هذه القيم بافتراض أن C تعادل عتبة التداخل في المستقبل.

هـ (الانحطاط الأقصى D)

يضم الجدول 21 المعلمات D_M و D_S و M_C و M_M للنظام المستخدم كمثال والقيمة المحسوبة D (المعادلتان (43) و(44)) وهي آخر معلمة مستخدمة في المعادلة (42).

الجدول 21

معلمات الانحطاط

أقصى انحطاط ناتج D (dB)	انحطاط تقديري D_S ⁽¹⁾ (dB)	الانحطاط الأقصى، D_M (dB)	هامش الحد الأدنى، M_M (dB)	هامش محسوب أو منشود، M_C (dB)
2,7	3,0	5,7	30,1	35,8

⁽¹⁾ ينبغي أن يكون الانحطاط التقديري D_S قيمة تنتج عن تجميع الأنظمة المسببة للتداخل قرب النظام المعني. وعند عدم توفر مثل هذه المعلومات، تعتمد القيمة $D_S = 3$ dB.

ويتيح استعمال القيمة D في المعادلة (42) الحصول على القيمة I_{RX} للنظام.

وتم اعتبارياً اختيار القيمة 2- للنسبة h/F_1 الواردة في المعادلة (40) من أجل تحديد توهين الانعراج الإضافي (A_D) 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 I_{RX} و A_D يمكن حساب نصف القطر R باستخدام المعادلة (38).

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

الجدول 22

معلمات التداخل وأنصاف أقطار القطاعات

فتحة الحزمة θ_3		فتحة الحزمة θ_2		فتحة الحزمة θ_1		I_{RX} (dBm)
(km) R_3	(dBm) A_3	(km) R_2	(dBm) A_2	(km) R_1	(dBm) A_1	
4,0	12,0	49,9	34,0	4,0	12,0	105,6-

الجدول 23

مناطق القطاع والمساحة الهندسية المرفوضة

المساحة الهندسية المرفوضة S (^2km)	فتحة الحزمة θ_3	فتحة الحزمة θ_2	فتحة الحزمة θ_1
	(^2km) A_{S3}	(^2km) A_{S2}	(^2km) A_{S1}
220,3	1,4	217,6	1,4

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.

الجدول 24

الكفاءة SUE في نظام من نقطة-إلى-نقطة

(Mb/s.km.MHz) SUE
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:

$$(45) \quad SUE = \{M, U\}$$

حيث:

M : التأثير النافع الناتج عن نظام الإذاعة المعني؛

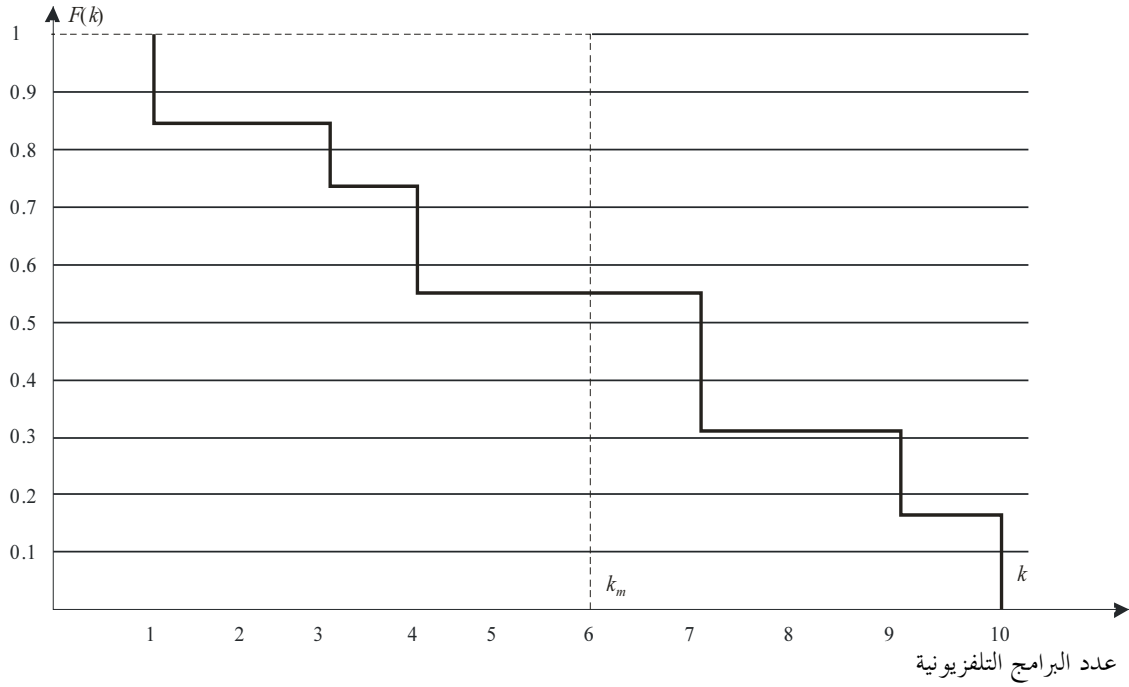
U : عامل استعمال الطيف في هذا النظام.

2.3 تعريف التأثير النافع في نظام إذاعة تلفزيونية

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

ويتغير 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.

الشكل 15



1046-15

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 تقييماً 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 أساساً 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:

$$(46) \quad M = k_m = \sum_{i=1}^I \alpha_i k_i$$

حيث:

I : عدد الأجزاء التي تكوّن المنطقة الجغرافية

$\alpha_i = \frac{n_i}{N}$: النسبة السكانية داخل الجزء i من المنطقة الجغرافية

n_i : عدد السكان المقيمين داخل الجزء i من المنطقة الجغرافية

k_i : 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_i و k_i على التوالي).

الجدول 25

توزيع السكان وعدد البرامج التلفزيونية لكل جزء في المنطقة

الجزء	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_i بالآلاف	20	10	60	0	100	10	40	10	0
k_i (الخيار 1)	4	2	8	1	10	2	6	4	1
k_i (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:

$$M = \frac{20 \cdot 4}{250} + \frac{10 \cdot 2}{250} + \frac{60 \cdot 8}{250} + \frac{0 \cdot 1}{250} + \frac{100 \cdot 10}{250} + \frac{10 \cdot 2}{250} + \frac{40 \cdot 6}{250} + \frac{10 \cdot 4}{250} + \frac{0 \cdot 1}{250} = 7.52 \text{ (programmes)}$$

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

$$M = \frac{20 \cdot 1}{250} + \frac{10 \cdot 2}{250} + \frac{60 \cdot 4}{250} + \frac{0 \cdot 1}{250} + \frac{100 \cdot 4}{250} + \frac{10 \cdot 8}{250} + \frac{40 \cdot 10}{250} + \frac{10 \cdot 6}{250} + \frac{0 \cdot 2}{250} = 4.88 \text{ (programmes)}$$

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 K_i للقنوات التلفزيونية المرفوضة في هذا الجزء من المنطقة لأسباب المواءمة الكهرمغناطيسية مع المحطات التلفزيونية القائمة. وقد ترتبط أيضاً بالعلاقة $U_i = \frac{K_i}{K}$ ، حيث K هو العدد الإجمالي للقنوات التلفزيونية. وتعتبر 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 سبب 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 و مترافقة.

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 المرجح 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:

$$(47) \quad U = \sum_{i=1}^I \alpha_i U_i$$

حيث:

$$U_i = \frac{K_i}{K} : \text{ كمية النطاقات المفروضة للمستقبل التلفزيوني الجديد المفترض في وسط الجزء } i \text{ من المنطقة.}$$

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 و 5 km².
 - حساب النسبة α_i من إجمالي السكان المقيمين في الجزء i من المنطقة.
 - تحديد نصف القطر R_s في مناطق خدمة مرسلات الأنظمة التلفزيونية القائمة تبعاً لخصائص التقنية.
 - حساب المسافة R_{ij} 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 R_s مع R_{ij} .
 - 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 الموائمة 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.

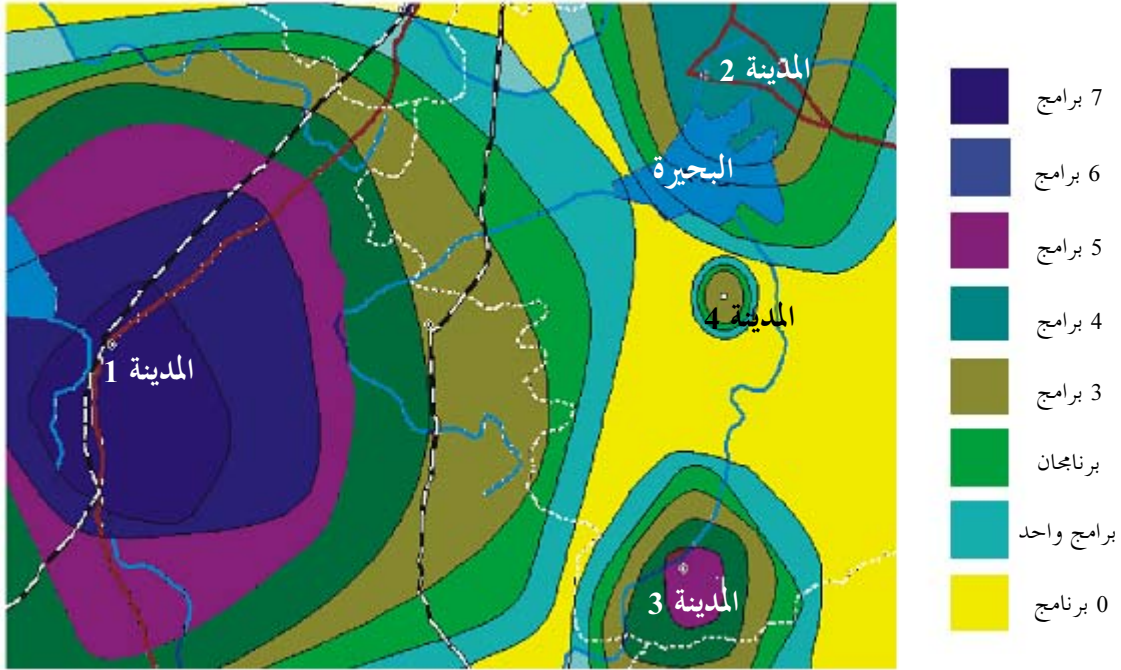
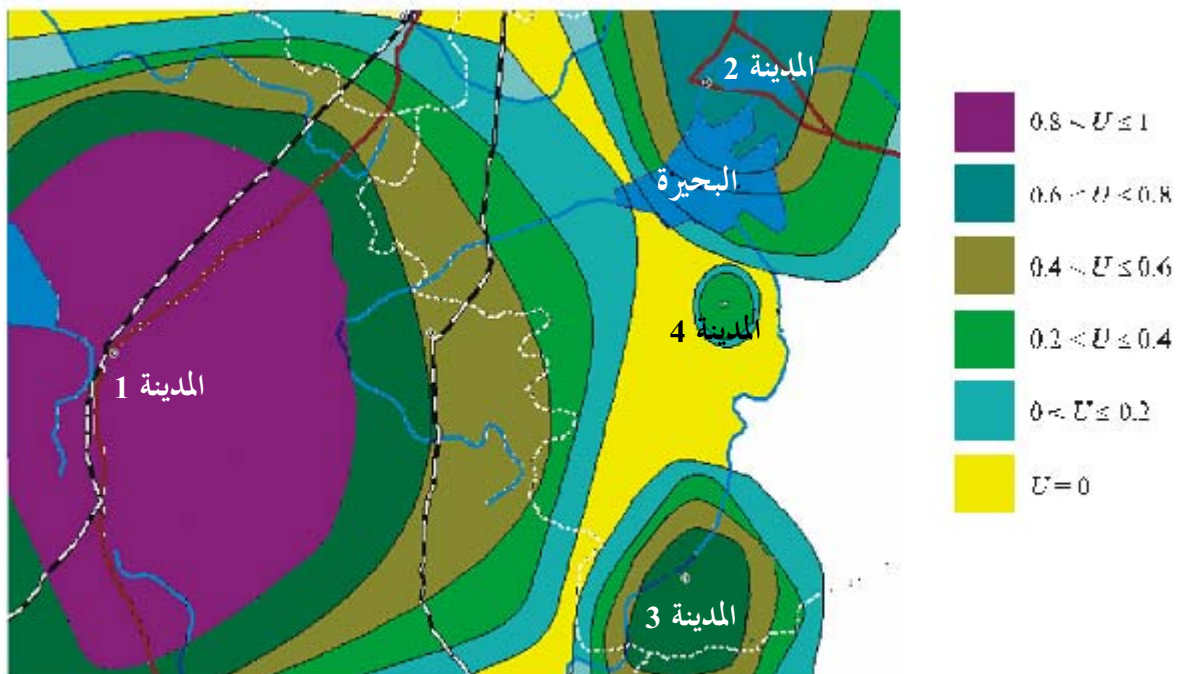
وكما هو الحال في الأنظمة التلفزيونية، يقترح حساب التأثير النافع على شكل متوسط عددي k_m لبرامج الإذاعة الصوتية التي يستطيع مستعمل ما أن يستقبلها في منطقة معينة. وكذلك ينبغي حساب عامل استعمال الطيف كمتوسط ترجيحي للعدد المقدّر من النطاقات المرفوضة لنظام إذاعة صوتية جديد بسبب عدم التقيد بشروط المواءمة الكهرمغناطيسية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

الشكل 16

تقييم مقدار استعمال الطيف

مخططات التأثير النافع M مخطط دليل استعمال الطيف U دليل عام: $SUE = (M = 3, 2 \text{ برنامج}, U = 0, 4)$