التوصيـــة ITU-R M.1768

منهجية حساب الاحتياجات من الطيف لمواجهة التطور المستقبلي للمكون الأرضي لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها

(2006)

1 مجال التطبيق

تصف هذه التوصية منهجية للحساب التقديري للاحتياجات الأرضية من الطيف لمواجهة التطور المستقبلي لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها.

وهي تقدم نهجاً نظامياً يضم فئات الخدمة (توليفة من نمط الخدمة وصنف الحركة) وبيئات الخدمة (توليفة من نموذج استعمال الخدمة وكثافة الاتصالات) والبيئات الراديوية وتحليل بيانات السوق وتقدير الحركة بواسطة هذه الفئات والبيئات وتوزيع الحركة بين مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) وحساب السعة اللازمة للنظام وتحديد محصلة الاحتياجات من الطيف. وتطبق هذه المنهجية على الحركة القائمة على تبديل الدارات وتبديل الرزم على السواء، ويمكن أن تتسع لخدمات متعددة.

2 الخلفية

يُعدّ تقدير الاحتياجات من الطيف للتطبيقات اللاسلكية على النحو الوارد في التوصية ITU-R M.1390 إطاراً عاماً يركز على سيناريو نظام واحد وسوق واحدة. ولم يعد تطبيق مثل هذا النهج البسيط مناسباً مع تقارب الاتصالات المتنقلة والثابتة والبيئات متعددة الشبكات ناهيك من دعم نعوت مثل العمل البيني السلس بين مختلف أنظمة النفاذ التي يكمل بعضها الآخر، حسب الوصف الوارد في التوصية ITU-R M.1645.

وقُدرت الاحتياجات من الطيف للمكونات الأرضية لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) في التقرير ITU-R M.2023 قبل المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2000 (WRC-2000) باستعمال منهجية حساب الطيف الواردة في التوصية ITU-R M.1390 والقائمة على شبكات تكنولوجيا شبكات الجيل الثاني (2G) وشبكات الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000). وتقوم هذه المنهجية أساساً على نموذج لتبديل الدارات. وكما تبين التوصية ITU-R M.1645، فإن غالبية الحركة المستقبلية آخذة في التغيّر من اتصالات تختص بالصوت فقط إلى اتصالات متعددة الوسائط. وستصمم الشبكات والأنظمة لنقل بيانات الرزم بشكل اقتصادي. ومن ثم، دعت الحاجة لوضع هذه التوصية لتحديد الاحتياجات من الطيف لمواجهة التطورات المستقبلية لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها مع الأخذ في الاعتبار احتياجات السوق الجديدة وسيناريوهات نشر الشبكات.

3 التوصيات والتقارير ذات الصلة

التوصية ITU-R M.1390 – منهجية حساب الاحتياجات من الطيف للمكون الأرضي في الاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT-2000).

التوصية ITU-R M.1645 – الإطار والأهداف الإجمالية للتطور المستقبلي لأنظمة الاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT-2000) وما بعدها.

التقرير ITU-R M.2038 – اتجاهات التكنولوجيا

التقرير ITU-R M. 2072 – التوقعات لسوق الاتصالات المتنقلة العالمية

التقرير ITU-R M.2074 – الجوانب الراديوية للمكون الأرضي للاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) المناسبة للتطور المستقبلي للاتصالات المتنقلة الدولية-2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها يمكن أن تختلف احتياجاتها من حيث عرض نطاق القناة، ويختلف بالتالي تأثيرها على الاحتمالات الأساسية لاستعمال الترددات؛

ب) أن المنهجية الواردة في الملحق 1 تعتبر من المرونة بحيث تتسع للمنظور العالمي أو للمتطلبات التي تنفرد بها الأسواق الإقليمية بالنسبة للاحتياجات الأرضية من الطيف؛

ج) أن الجوانب الوظيفية للخدمة في الشبكات الثابتة والمتنقلة والإذاعية آخذة في التقارب والتشغيل البيني على نحو متزايد؛

د) أن أسواق الاتصالات بمجملها ستزوَد بمختلف وسائل الاتصال من حيث الخدمات والشبكات وفقاً للتوصية ITU-R M.1645؛

هـ) أن آليات تسليم أخرى يمكن أن تدعم بعض تطبيقات المستعمل على نحو مشترك وأن تنقل حركتها؛

و) أنه ينبغي الأخذ في الحسبان توزيع الحركة إلى مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) الأخرى ذات الصلة؛

ز) أن القرار 228 (Rev.WRC-03) يدعو قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات إلى تقديم تقرير عن نتائج الدراسات بشأن الاحتياجات من الطيف لمواجهة التطور المستقبلي للاتصالات المتنقلة الدولية–2000 (IMT-2000) والأنظمة التالية لها؛

ح) أنه ينبغي بالتالي أن يقتصر حساب الاحتياجات من الطيف على مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) التي تقع ضمن التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها؛

ط) أن منهجية حساب الاحتياجات من الطيف من أجل التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها، اعتباراً من 2010 فصاعداً، ينبغي أن:

i) تقر بأن التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها يُتوقع أن يدعم المقدرات الموصوفة في التوصية ITU-R M.1645، الشكل 2؛

ii) تتسع للمزيج المعقد من الخدمات التي ستحتاج إلى عروض نطاقات مختلفة وجودة خدمة مختلفة، وكذلك إلى معدلات بتات أعلى كثيراً من الاتصالات IMT-2000؛

iii) تتمكن من نمذجة أنظمة تتألف من شبكات متعددة تعمل بينياً وتتسم بالمرونة في التعامل مع مختلف توليفات مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) في مختلف البيئات، ومع إمكانية تزويد الوصلات الصاعدة والهابطة للخدمة بمختلف تقنيات النفاذ الراديوي (RAT)؛

iv) تستعمل بيانات السوق التي يمكن جمعها عملياً كمدخلات للتنبؤات الخاصة بالحركة؛

v) تتسم بالمرونة للتعامل مع التكنولوجيات الناشئة والتحسينات المدخلة على الاتصالات IMT-2000؛

vi) تراعي عوامل التطبيقات العملية للشبكة؛

vii) تقدم نتائج يسهل فهمها وتتمتع بالمصداقية؛

viii) يتسنى تنفيذها والتحقق منها في حدود الجداول الزمنية المتاحة؛

ix) تكون ملائمة للاستعمال أثناء اجتماعات قطاع الاتصالات الراديوية من حيث المرافق الحاسوبية اللازمة والوقت المطلوب لإجراء تحليل؛

x) لا يتعدى تعقيدها أكثر من مبررات عدم اليقين من بيانات المدخلات؛

xi) تأخذ في الحسبان التحسينات في كفاءة استعمال الطيف الترددي بفعل أوجه التقدم في التكنولوجيات المستخدمة في تحسين الاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها،

وإذ تدرك

أ) أن غالبية الحركة المستقبلية آخذة في التغيّر من اتصالات تختص بالصوت فقط إلى اتصالات متعددة الوسائط؛

ب) أن الشبكات والأنظمة ستصمم لنقل بيانات الرزم بشكل اقتصادي؛

ج) وأن الخدمات أصبحت أكثر تنوعاً ولن يعود صحيحاً تماماً أن تعتبر قيم ذروة الحركة البسيطة مطبقة عبر مختلف البيئات والمناطق الجغرافية والأوقات،

توصـــي

1 بأن الإدارات التي ترغب في تقدير الاحتياجات من الطيف للتطور المستقبلي للمكون الأرضي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها ينبغي أن تستعمل المنهجية الواردة في الملحق 1.

الملاحظة 1 – تُعتبر هذه المنهجية منهجية عامة ويمكن استعمالها لأسواق مختلفة ولطائفة من معماريات الأنظمة الخليوية. وينبغي توخي الحرص في اختيار معلمات الدخل لتعكس متطلبات بلدان أو أقاليم معينة.

الملحق 1

1 مقدمة

فيما مضى، كان تقدير الاحتياجات من الطيف للتطبيقات اللاسلكية يعد إطاراً عاماً يركز على سيناريو نظام واحد وسوق واحدة. و لم يعد تطبيق مثل هذا النهج البسيط مناسباً مع تقارب الاتصالات المتنقلة والثابتة والبيئات متعددة الشبكات ناهيك من دعم نعوت مثل العمل البيني السلس بين مختلف أنظمة النفاذ التي يكمل بعضها الآخر، حسب الوصف الوارد في التوصية ITU-R M.1645. فلتقدير الاحتياجات الترددية، يجب تطوير وتطبيق نماذج جديدة لمراعاة الارتباطات المكانية والزمنية بين خدمات الاتصالات مع الأخذ في الاعتبار احتياجات السوق وسيناريوهات نشر الشبكات.

2 الرؤية الشاملة بشأن الاتصالات IMT-2000 والتطورات المستقبلية لهذه الاتصالات والأنظمة التالية لها

يُعبَّر عن الرؤية عالية المستوى الواردة في التوصية ITU-R M.1645 للتطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها كما يلي:

– *التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000:* تشير رؤية التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 إلى تطور مطرد ومستمر. فمثلاً، يجري فعلاً توسيع المقدرات الراهنة لبعض السطوح البينية الراديوية للأرض لتصل إلى 10 Mbit/s، ويتوقع المضي قدماً في توسيعها لتصل إلى 30 Mbit/s بحلول العام 2005 تقريباً.

– *المقدرات الجديدة للأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000:* يمكن أن يُفرض على الأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000 شرط بوجود تكنولوجيا جديدة للنفاذ اللاسلكي للمكون الأرضي، وذلك في عام 2010 تقريباً. وسيتمم ذلك أنظمة الاتصالات IMT-2000 المعززة والأنظمة الراديوية الأخرى. ويتوقع أن يكون على السطوح البينية الراديوية الجديدة المحتملة أن تدعم معدلات بيانات تصل حتى 100 Mbit/s تقريباً من أجل التنقلية العالية من قبيل النفاذ المتنقل وحتى 1 Gbit/s تقريباً من أجل التنقلية المنخفضة من قبيل النفاذ اللاسلكي الجوال/المحلي، بحلول العام 2010 تقريباً.

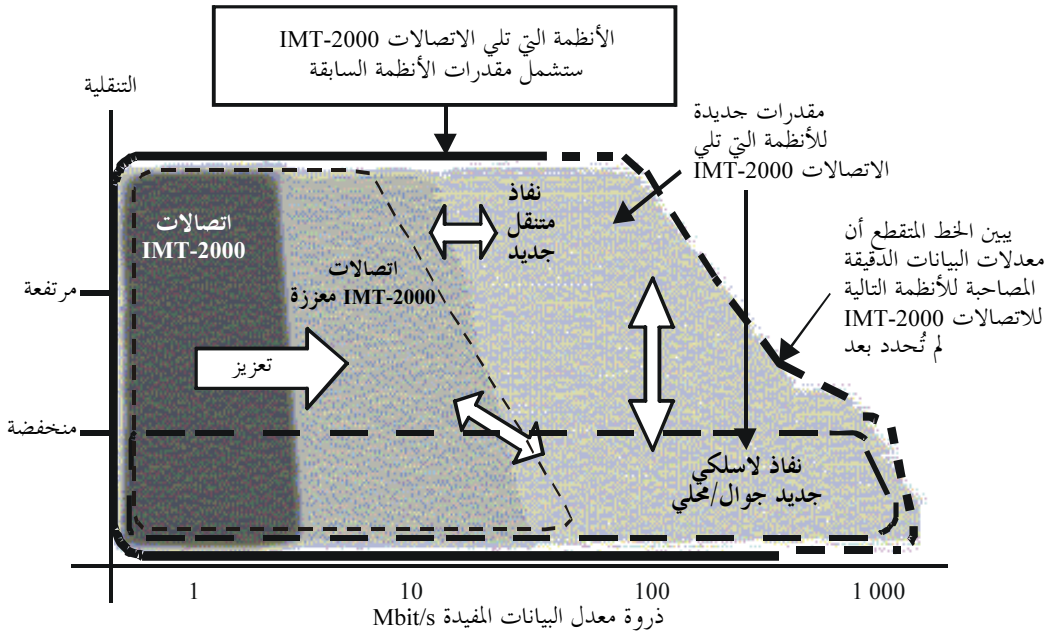
وينبغي النظر إلى أرقام معدل البيانات هذه وعلاقتها بدرجة التنقلية (انظر الشكل 1) كأهداف للبحوث والدراسات بالنسبة للتكنولوجيات الأساسية اللازمة لتنفيذ الرؤية. حيث إن مواصفات النظام المستقبلي وتصميماته ستستند إلى نتائج البحوث والدراسات. وسوف يلزم المزيد من الطيف الترددي لاستيفاء المقدرات الجديدة للأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000، بحكم المتطلبات المتوقعة لمعدل البيانات. ولئن استبقت أرقام معدل البيانات أوجه التقدم في التكنولوجيا، يُتوقع أن تكون هذه القيم ممكنة تكنولوجياً في حدود الجدول الزمني المذكور أعلاه. ويمكن أن تختلف سرعات الإرسال القصوى لجهة المصدر وجهة المقصد.

– *علاقة الاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها وأنظمة النفاذ الأخرى:* فيما يتعلق بالتطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها، ستستمر العلاقات بالتطور بين مختلف أنظمة النفاذ الراديوي والاتصالات مثل الشبكات الشخصية (PAN) وشبكات المنطقة المحلية (LAN) والإذاعة الرقمية والنفاذ اللاسلكي الثابت (FWA).

ويبين الشكل 1 مقدرات الاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها. وستكون أنظمة النفاذ هذه موصولة بشبكة مركزية مشتركة ومرنة وسلسلة التوصيل.

الشكل 1

بيان مقدرات الاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها



⟺ يرمز إلى التوصيل البيني للأنظمة عبر شبكات أو ما يشاكلها، والذي يتيح الاستعمال المرن في أية بيئة دون إشعار المستعملين بالأنظمة المكوِّنة

أنظمة النفاذ الجوالة/المحلية

أنظمة الإذاعة الرقمية

يبين التظليل الرمادي الداكن المقدرات القائمة، ويبين التظليل الرمادي المتوسط التعزيزات المدخلة على الاتصالات IMT-2000، ويبين التظليل الرمادي الأفتح المقدرات الجديدة للأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000.

توصف درجة التنقلية المستعملة في هذا الشكل كما يلي: تغطي التنقلية المنخفضة سرعة المشاة، بينما تغطي التنقلية العالية السرعة العالية في الطرق السريعة والقطارات السريعة (من 60 km/h إلى ~ 250 km/h أو أكثر).

1768-01

3 حدود منهجية التوصية ITU-R M.1390

في التوصية ITU-R M.1390، اعتمد قطاع الاتصالات الراديوية منهجية قائمة على شبكات من مزيج تكنولوجيا الجيل الثاني والاتصالات IMT-2000. ونموذج تزويد الخدمة في هذه المنهجية هو معمارية حركة قائمة على الصوت بما فيها خدمة الرسائل القصيرة مع بعض الخدمات ذات معدل البيانات الأعلى التي تتميز بنموذج بسيط لذروة الحركة. وقد وُضع تقدير للطيف الترددي اللازم لحمل الحركة المتوقعة للعامين 2005 و2010 في التقرير ITU-R M.2023 باستعمال التوصية ITU-R M.1390.

وطبقاً لما ورد في التوصية ITU-R M.1645 فإن غالبية الحركة المستقبلية آخذة في التغيّر من اتصالات خاصة بالصوت إلى اتصالات متعددة الوسائط. وسيطغى دور حركة البيانات القائمة على بروتوكول الإنترنت مستقبلاً. ومن جراء ذلك، ستصمم الشبكات والأنظمة لنقل بيانات الرزم بشكل اقتصادي. وعلاوة على ذلك، فإنه مع زيادة تنوع الخدمات، لا يُتوقع تطبيق قيم ذروة الحركة البسيطة على مختلف البيئات والمناطق الجغرافية والأوقات. كما أنه لن يكون منطقياً النظر إلى الخدمات والبيئات بمعزل عن تقدير الحركة الإجمالية.

وتعالج المنهجية الواردة في التوصية ITU-R M.1390 كل بيئة وخدمة ضمن كل بيئة على حدة، بحيث لا يتطلب تقدير الطيف الترددي الإجمالي إلا جمع ذرى حركات كل خدمة ضمن كل بيئة مع بعضها البعض. فالتوصية ITU-R M.1390 لا تراعي واقع العلاقات البينية في استعمال الخدمات الفرادى. ومن ثم، ينبغي دمج إحصاءات الحركة للخدمات المتعددة في بعض الحالات على الأقل. إذ تتطلب التوصية ITU-R M.1390 باختصار تحديد خلية ذروة حركة أي ذروة حركة لكل خدمة ضمن تلك الخلية خلال ساعة الازدحام قبل تطبيق المنهجية.

لذا، ينبغي دراسة القيود التالية لتحديد منهجية أكثر دينامية:

- تتطلب المنهجية الحالية حدوث ذروة حركة لكل خدمة ضمن بيئة ما في نفس الخلية المزدحمة، وتتطلب تماثل ساعة الازدحام لكل خدمة ضمن خلية ما.
- كما سيكون من المناسب في بعض الحالات عدم التعاطي مع مختلف البيئات بمعزل عن بعضها البعض. فالمنهجية الواردة في التوصية ITU-R M.1390 تفترض حدوث الخلية المزدحمة لكل بيئة في المنطقة الجغرافية نفسها. ومع تنفيذ بيئات متعددة متراكبة جغرافياً سيرجح اختيار المستعملين والمشغلين لبيئة معينة بدلاً من أي بيئة أخرى. ومع ازدياد تعقيد معمارية الشبكة، يمكن أن ينتقل الطيف الترددي أيضاً من بيئات أقل ازدحاماً إلى بيئات أكثر ازدحاماً.

تشمل القيود التي يمكن أن تحول دون تطبيق المنهجية الواردة في التوصية ITU-R M.1390 للنظر في الاحتياجات من الطيف للتطور المستقبلي للعنصر الأرضي للاتصالات لأنظمة IMT-2000 والأنظمة التالية لها ما يلي:

- التركيز على الشبكات الخليوية فقط.
- مفهوم ساعة الازدحام بدلاً من مفهوم النفاذ المعتمد على الوقت.
- المعالجة المنقوصة لتطبيقات الرزم المبدلة.
- افتراض تماثل مقدرات النظام لجميع البيئات وجميع احتياجات التنقلية.
- افتراضات مبسطة بشأن تحسين كفاءة الطيف الترددي.
- معالجة مستقلة لشتى البيئات.
- ساعات ازدحام متطابقة لجميع التطبيقات والبيئات مع ترجيح بسيط لتصحيح حركة ساعة الازدحام غير المتزامنة.
- إغفال التشغيل البيني بين شبكات النفاذ المختلفة.

4 المعلومات المطلوبة مسبقاً لتطبيق المنهجية

1.4 التوقعات بشأن الخدمات والسوق

تنطلق جميع الاعتبارات الخاصة بالطيف والمتعلقة بالاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها من توقعات السوق بشأن خدمات الاتصالات اللاسلكية بين العامين 2010 و2020. والقضية الأساسية في هذا المجال هي التوقعات بشأن سوق المستعملين ضمن الاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها. وقد صُممت المنهجية لتتسع لطائفة واسعة ومتنوعة من التطبيقات. ويُعرَّف النسق المطلوب لمعلومات السوق في الفقرة 5.5. ويرد مثال عن المعلومات المناسبة عن السوق بهذا النسق في التقرير ITU-R M.2072.

2.4 الاعتبارات التقنية

تنتهج المنهجية نهجاً حيادياً من حيث التكنولوجيا في دراساتها التقنية لتقنيات النفاذ الراديوي وتستعمل تصنيف مجموعات تقنية النفاذ الراديوي الوارد في التقرير ITU-R M.2074. وتتطلب منهجية حساب الطيف الترددي معلمات تقنية لوصف مختلف مجموعات تقنية النفاذ الراديوي كمدخلات لحسابات الطيف الترددي. ويسهل نهج مجموعة تقنية النفاذ الراديوي

إجراء الدراسة التقنية لتقدير الطيف الترددي دون الرجوع إلى المواصفة التفصيلية للسطوح البينية الراديوية للأنظمة المتنقلة القائمة والمستقبلية على السواء. وتشمل الدراسة التقنية تعاريف مجموعة تقنية النفاذ الراديوي والمعلمات الراديوية المصاحبة لمجموعات تقنية النفاذ الراديوي المستعملة في مختلف خطوات المنهجية. ويرد في التقرير ITU-R M.2074 دراسة ووصف لجوانب التكنولوجيا الراديوية هذه ولقيم المعلمات الراديوية من قبيل الكفاءة في استعمال الطيف.

3.4 مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG)

تأخذ المنهجية في الحسبان السوق الكلي لاتصالات الأرض التي ستقدمها وسائل الاتصال المتنوعة من حيث الخدمات والشبكات طبقاً للتوصية ITU-R M.1645. وهناك عدد من مجموعات تقنية النفاذ الراديوي التي يمكن تحديدها. وتوزع المنهجية الحالية إجمالي الحركة المتوقعة للسوق الكلي لاتصالات الأرض على مجموعات تقنية النفاذ الراديوي المحددة الهوية، وهي:

المجموعة 1: أنظمة ما قبل الاتصالات المتنقلة الدولية (IMT) والاتصالات IMT-2000 وتعزيزاتها.

وتغطي هذه المجموعة الأنظمة الرقمية المتنقلة الخليوية وأنظمة الاتصالات IMT-2000 وتعزيزاتها.

المجموعة 2: الأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000 حسب وصفها الوارد في الشكل 2 في التوصية ITU-R M.1645 (مثل النفاذ المتنقل الجديد والنفاذ اللاسلكي الجديد الترحالي/في منطقة محلية)، يُستثنى من ذلك الأنظمة الموصوفة سابقاً في أي من مجموعات تقنية النفاذ الراديوي الأخرى.

المجموعة 3: شبكات المنطقة المحلية الراديوية القائمة وتعزيزاتها.

المجموعة 4: أنظمة الإذاعة الرقمية المتنقلة وتعزيزاتها.

وتغطي هذه المجموعة الأنظمة المخصصة للإذاعة إلى الأجهزة المطرافية المتنقلة والمحمولة باليد.

5 منهجية حسابات الاحتياجات من الطيف

1.5 نطاق منهجية حساب الطيف الترددي لتحقيق الرؤية الخاصة بالاتصالات IMT-2000 وللتطورات المستقبلية للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها

تحسب منهجية حساب الطيف الترددي الاحتياجات من الطيف لمجموعة تقنية النفاذ الراديوي 1 (RATG1) ومجموعة تقنية النفاذ الراديوي 2 (RATG2) التي تقابل التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها. وتنظر المنهجية في توقعات الحركة للمجموعتين RATG1 وRATG2 ، فضلاً عن مجموعات RATG الأخرى ذات الصلة التي يمكن أن تقدم بعض التطبيقات على نحو مشترك، في ضوء القرار 228 (Rev.WRC-03) الذي يفيد بتزايد التقارب والعمل البيني ما بين الجوانب الوظيفية للخدمة. بيد أن البند 4.1 من جدول أعمال المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية لعام 2007 (WRC-07) لا يدعو قطاع الاتصالات الراديوية لحساب الاحتياجات من الطيف لمجموعات RATG إلا للتطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها. لذلك، يجرى حساب الاحتياجات من الطيف للمجموعتين RATG1 وRATG2.

2.5 نهج حساب الطيف الترددي

يتعين أن تستند العملية التقنية لتقدير الاحتياجات من الطيف للاتصالات المتنقلة إلى أربع قضايا أساسية:

- تعريف الخدمات.
- توقعات السوق.
- الإطار العام التقني والتشغيلي.
- خوارزمية حساب الطيف الترددي.

3.5 الانسياب التنوعي للمنهجية

يعرض الشكل 2 المخطط الانسيابي التنوعي لمنهجية حساب الاحتياجات من الطيف.

الخطوة 1: تعرض مختلف التعاريف المستعملة في المنهجية والتي ترد في الفقرة 4.5.

الخطوة 2: تحلل بيانات السوق التي يمكن الحصول عليها من التقرير ITU-R M.2072. ويرد وصف لتحليل بيانات السوق في الفقرة 5.5.

الخطوة 3: تُحسب قيم للمنهجية وفق الوصف الوارد في الفقرة 6.2.5.5.

الخطوة 4: توزع الحركة على مختلف مجموعات RATG والبيئات الراديوية داخل مجموعات RATG، ويُعرض ذلك في الفقرة 6.5.

الخطوة 5: تحدد السعة المطلوبة للنظام كي يحمل الحركة المقدمة. وترد خوارزميتا حساب السعة على نحو منفصل لفئتي خدمة الدارات المبدلة والرزم المبدلة في الفقرتين 1.6 و2.6، على التوالي.

الخطوة 6: تحسب الاحتياجات من الطيف للمجموعتين RATG1 وRATG2، ويُعرض ذلك في الفقرة 3.6.

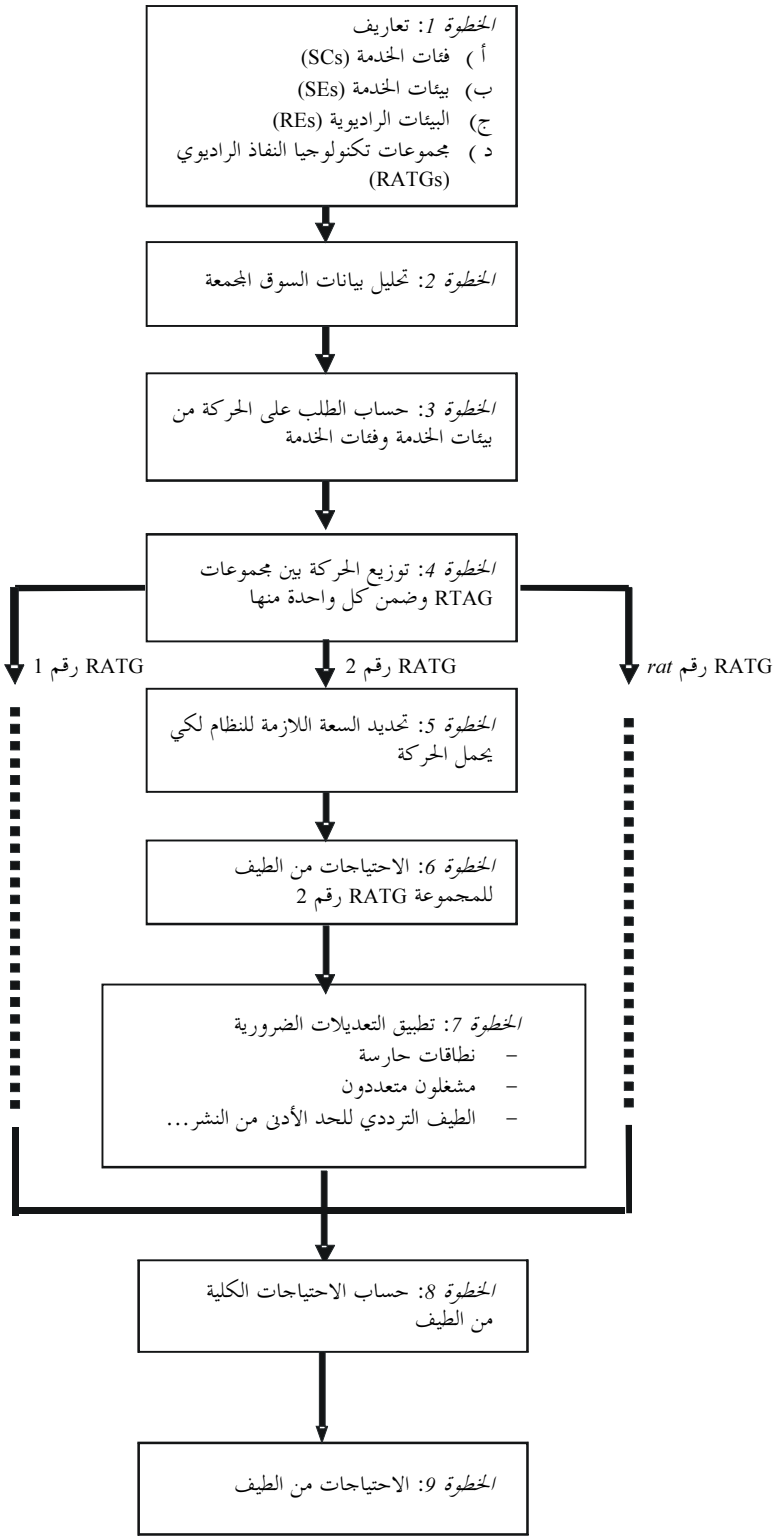
الخطوة 7: تطبق التعديلات اللازمة للأخذ في الحسبان الحالات العملية لنشر الشبكة، حسب الوصف الوارد في الفقرة 7.

الخطوة 8: تحسب الاحتياجات الإجمالية من الطيف في الفقرة 8.

الخطوة 9: تعطي الاحتياجات الطيفية للمجموعتين RATG1 وRATG2 كمخرجات.

الشكل 2

المخطط الانسيابي للمنهجية التنوعية لحساب الطيف الترددي



1768-02

4.5 التعاريف

تُعرَّف في هذه الفقرة كل معلمات الدخل اللازمة وتصنيفات الفئات المصاحبة لها.

وتضم الفقرات التالية جداول المعلمات المطلوبة للمنهجية. وينبغي أن يُنظر إلى قيم المعلمات الواردة في هذه الجداول كأمثلة حسبما يتبيّن في الجداول المقابلة.

وتُقدَّم أولاً أنماط الخدمة وأصناف الحركة لتعكس معدلات بيانات الذروة المرجحة وملامح الحركة المرجحة لخدمة ما. وتُعرَّف فئة خدمة كتوليفة من نمط الخدمة وصنف الحركة.

وتُعرَّف بيئات الخدمة كي تصنف فئة المنطقة التي يوجد فيها المستعمل عند تقييمها للخدمة ولملامح الحركة في تلك المنطقة الجغرافية. وتعرَّف بيئات الخدمة كتوليفة من نمط استعمال الخدمة والكثافة الهاتفية.

وتعرَّف البيئة الراديوية لتعكس البنية التحتية الراديوية التي تقدم الخدمات إلى المستعملين في بيئة خدمية. وتُعرَّف البيئات الراديوية لتعكس مختلف مفاهيم حالات النشر الراديوية.

وتعرَّف مجموعات RATG المختلفة لتأخذ في الحسبان رحابة سوق اتصالات الأرض المتوفرة لتقديم الخدمات.

1.4.5 فئات الخدمة

تعرَّف فئة الخدمة (SC) على أنها توليفة من نمط الخدمة وصنف الحركة كما يظهر في الجدول 1.

الجدول 1

تصنيف فئات الخدمة

صنف الحركة / فئة الخدمة	تحادثية	تدفقية	تفاعلية	خلفية
وسائط متعددة بمعدل فائق العلو	SC 1	SC 6	SC 11	SC 16
وسائط متعددة بمعدل عال	SC 2	SC 7	SC 12	SC 17
وسائط متعددة بمعدل متوسط	SC 3	SC 8	SC 13	SC 18
بيانات بمعدل منخفض ووسائط متعددة بمعدل منخفض	SC 4	SC 9	SC 14	SC 19
بيانات بمعدل منخفض جداً[1]	SC 5	SC 10	SC 15	SC 20

[1] يشمل ذلك المحادثة وخدمة الرسائل القصيرة.

1.1.4.5 أنماط الخدمة

تُستعمل معدلات بتات الذروة لتصنيف أنماط الخدمة. ويمكن تجميع الخدمات التي تتطلب معدلات بيانات متشابهة ضمن فئة واحدة. وتقسم مختلف الخدمات إلى خمسة أنماط خدمة كما يبين في الجدول 2.

الجدول 2

أنماط الخدمة ومعدلات بتات الذروة الخاصة بها

نمط الخدمة	معدل بتات الذروة
بيانات بمعدل منخفض جداً	kbit/s 16 >
بيانات بمعدل منخفض ووسائط متعددة بمعدل منخفض	kbit/s 144 >
وسائط متعددة بمعدل متوسط	Mbit/s 2 >
وسائط متعددة بمعدل عال	Mbit/s 30 >
وسائط متعددة بمعدل فائق العلو	Mbit/s 30 إلى Gbit/s 1/Mbit/s 100

أ) بيانات بمعدل منخفض جداً

يتطلب نمط الخدمة هذا معدلات بتات تصل ذروتها إلى kbit/s 16. واعتباراً من العام 2010 فصاعداً، سيكون هناك طلب على تطبيقات البيانات ذات المعدل المنخفض جداً هذه في خدمة الكلام والرسائل البسيطة. وبالإضافة إلى ذلك، يُتوقع أن تقع في هذه الفئة بعض التطبيقات في مجال اتصالات المحساس و/أو القياس عن بعد ذي معدل البيانات المنخفض، من قبيل الاتصالات المنتشرة في كل مكان.

ب) بيانات بمعدل منخفض ووسائط متعددة بمعدل منخفض

يدعم نمط الخدمة هذا معدلات بتات حتى kbit/s 144. ويأخذ نمط الخدمة هذا في الحسبان تطبيقات اتصال البيانات لما قبل الاتصالات IMT-2000.

ج) وسائط متعددة بمعدل متوسط

يدعم نمط الخدمة هذا معدلات بتات تصل ذروتها حتى Mbit/s 2. وهذا النمط مطلوب للحفاظ على التوافق مع تطبيقات الاتصالات IMT-2000 الراهنة.

د) وسائط متعددة بمعدل عال

يتسع هذا النمط من الخدمة لتطبيقات ذات معدلات بيانات عالية، بما فيها خدمات نقل تدفقات الفيديو متعددة الوسائط المقدمة مع خدمة الخط الرقمي للمشترك (xDSL) في أنظمة الاتصالات الثابتة السلكية.

هـ) وسائط متعددة بمعدل فائق العلو

يتسع هذا النمط من الخدمة لتطبيقات الوسائط المتعددة ذات معدلات البيانات فائقة العلو المقدمة حالياً مع خدمات توصيل الألياف البصرية إلى المنزل (FTTH) في حالة أنظمة الاتصالات السلكية.

2.1.4.5 أصناف الحركة

تطبق المنهجية أصناف الحركة الواردة في التوصية ITU-R M.1079 التي تعرِّف أربعة أصناف من نوعية الخدمة (QoS) للاتصالات IMT-2000 من منظور المستعمل:

- صنف الخدمة التحادثية؛
- صنف الخدمة التفاعلية؛
- صنف الخدمة التدفقية؛
- صنف خدمة الخلفية.

إن العامل الرئيسي المميز بين هذه الأصناف هو مدى تأثر التطبيق بالتأخير: إذ يشير صنف الخدمة التحادثية إلى صنف جودة خدمة بالغ التأثر بالتأخر، في حين أن صنف الخلفية هو أقل أصناف نوعية الخدمة تأثراً بالتأخر.

وفي أصناف الحركة القائمة على التوصية ITU-R M.1079، يُقدم صنفا الخدمة التحادثية والخدمة التدفقية مع تبديل الدارات ويُقدم صنفا خدمة الخلفية والخدمة التفاعلية مع تبديل الرزم.

أ) صنف الخدمة التحادثية

أشهر استعمال لهذا المخطط هو كلام المهاتفة. بيد أنه مع قدوم الإنترنت والوسائط المتعددة سيحتاج عدد من التطبيقات الجديدة إلى هذا المخطط، ومثال ذلك نقل الصوت باستخدام بروتوكول الإنترنت (VoIP) وأدوات المؤتمرات الفيديوية. فالمحادثة الجارية في الوقت الفعلي تجري دوماً بين نظراء (أو مجموعات) من المستعملين النهائيين الأحياء (البشر). ويتميز مخطط المحادثة في الوقت الفعلي بوجوب انخفاض زمن النقل بسبب:

- الطبيعة التحادثية للمخطط.
- وأنه يتحتم في الوقت ذاته الحفاظ على العلاقة (التغيرات) الزمنية بين كيانات معلومات القطار على غرار قطارات الوقت الفعلي.

ويعطى الحد الأقصى لتأخير النقل بدلالة الإدراك البشري للمحادثة الفيديوية والسمعية. ومن ثم فإن الحد المقبول لتأخير النقل صارم جداً نظراً لأن الفشل في الحد من تأخير النقل بما يكفي سيفضي إلى نقص غير مقبول في الجودة. لذلك فإن شرط تأخير النقل يتسم بكونه إلى حد كبير أكثر تشدداً من تأخير رحلة الذهاب والإياب للتطبيقات التفاعلية.

ب) صنف الخدمة التفاعلية

يسري هذا المخطط عندما يطلب مستعمل نهائي، سواء كان آلة أم إنساناً، بيانات على الخط من تجهيزات بعيدة (مثل المخدم). وتضم أمثلة التفاعل البشري مع التجهيزات البعيدة: تصفح شبكة الويب واستخراج البيانات من قاعدة البيانات والنفاذ إلى المخدم. وتضم أمثلة تفاعل الآلة مع التجهيزات البعيدة: استطلاع سجلات القياس والاستعلامات التلقائية لقاعدة البيانات (الآلات العاملة عن بعد).

والحركة التفاعلية هي الشكل الكلاسيكي الثاني لاتصالات البيانات وتتميز على المستوى الإجمالي بنمط الطلب والرد للمستعمل النهائي. فعند مقصد الرسالة ثمة كيان ينتظر الرسالة (الرد) ضمن وقت معين. ولذا، فإن وقت التأخير لرحلة الذهاب والإياب هو أحد النعوت الرئيسية. وهناك خاصية أخرى تتمثل في ضرورة نقل محتوى الرزم بشفافية (بمعدل منخفض للخطأ في البتات).

الحركة التفاعلية – الخاصيتان الأساسيتان لنوعية الخدمة (QoS):

- نمط الطلب والرد.
- الحفاظ على محتوى الحمولة النافعة.

ج) صنف الخدمة التدفقية

يسري مخطط تدفقات الوقت الفعلي عندما يشاهد (يسمع) المستعمل إشارات مرئية (صوتية) في الوقت الفعلي. ويسعى انسياب البيانات في الوقت الفعلي إلى مقصد حي (بشري) على الدوام. وهو نقل باتجاه واحد.

وهذا المخطط واحد من المخططات الجديدة في اتصالات البيانات، وهو يطرح عدداً من الاحتياجات الجديدة في أنظمة الاتصالات وأنظمة اتصالات البيانات على السواء. ويتميز هذا المخطط بالعلاقات (التغيرات) الزمنية بين كيانات المعلومات (أي العينات والرزم) ضمن تدفق يتعين حفظه، رغم عدم وجود أي متطلبات له من حيث الإقلال من تأخير النقل.

ويجب أن يوضع حد لتغير تأخير التدفق من طرف إلى طرف لحفظ العلاقة (التغيرات) الزمنية بين كيانات المعلومات في القطار. وبما أن القطار يُضبط زمنياً عند الطرف المستقبل (في تجهيزات المستعمل) عادةً، فإن مقدرة وظيفة ضبط الوقت للتطبيق هي التي تحدد أعلى تغير مقبول في التأخير عبر وسائط النقل. وإلى ذلك، فإن التغير المقبول في التأخير يكون أكبر كثيراً من التغير في التأخير الذي تمليه حدود الإدراك البشري.

القطارات في الوقت الفعلي – الخاصيتان الأساسيتان لنوعية الخدمة (QoS):

- تدفق مستمر أحادي الاتجاه.
- حفظ العلاقة (التغيرات) الزمنية بين كيانات معلومات القطار.

د) صنف خدمة الخلفية

تسري هذه الخطة عندما يقوم المستعمل النهائي، وهو حاسوب عادة، بإرسال واستقبال ملفات بيانات في الخلفية. ومن بين الأمثلة: القيام، في الخلفية، بإيصال البريد الإلكتروني وبخدمة الرسائل القصيرة (SMS) وبتحميل قواعد بيانات وبتلقي سجلات القياس.

وتعد حركة الخلفية واحدة من المخططات الكلاسيكية لاتصالات البيانات حيث يتسم المستوى الإجمالي بعدم وجود معلمة في المقصد تنتظر تلقي بيانات في حدود وقت محدد، ولكن يظل هناك قيد على التأخير نظراً لأن البيانات تصبح عديمة الفائدة فعلياً إذا تأخر استلامها كثيراً في أي غرض من الأغراض العملية. ومن ثم فإن المخطط لا يتأثر كثيراً بوقت الإيصال. وتتمثل الخاصية الأخرى في ضرورة نقل محتوى الرزم بشفافية (بمعدل منخفض للخطأ في البتات).

حركة الخلفية – الخاصيتان الأساسيتان لنوعية الخدمة:

- عدم توقع المقصد تلقي البيانات ضمن وقت محدد.
- حفظ محتوى الحمولة النافعة.

ولا يحمل تطبيق الخلفية معلومات تأخير. ومبدئياً فإن الشرط الوحيد للتطبيقات في هذه الفئة هو إيصال المعلومات للمستعمل في الأساس خالية من الأخطاء. ولكن لا بد من التأكيد على تقييد التأخير نظراً لأن البيانات تصبح عديمة الفائدة فعلياً إذا تأخر تلقيها كثيراً في أي غرض من الأغراض العملية.

3.1.4.5 معلمات فئات الخدمة

تحدد سمات فئات الخدمة بواسطة معلمات مستخلصة إما من دراسات السوق أو من مصادر أخرى. والمعلمات التالية مأخوذة من التقرير ITU-R M.2072:

- كثافة المستعملين (عدد المستعملين/km^2).
- معدل وصول الدورات لكل مستعمل (عدد الدورات/(ثانية*مستعمل)).
- المعدل المتوسط لبتات الخدمة (bit/s).
- متوسط مدة الدورة (دورة/ثانية).
- نسبة التنقلية.

وتحدد المعلمات الأربع الأولى سمات الطلب على مختلف فئات الخدمة، في حين تستخدم معلمة التنقلية في توزيع الحركة في الفقرة 6.5. وترتبط التنقلية المطرافية ارتباطاً وثيقاً بسيناريوهات استخدام التطبيقات. وقد عرّفت التوصية ITU-R M.1390 التنقلية على أنها:

- داخل المباني،
- وخاصة بالمشاة،
- وعلى متن المركبات.

وتتوقف الاحتياجات على سرعة المحطات المتنقلة. وقد صُنفت أصناف التنقلية في دراسات السوق المتضمنة في التقرير ITU-R M.2072 كالآتي:

- ثابتة (km/h 0)
- منخفضة (< 0 km/h و > 4 km/h)
- عالية (< 4 km/h و< 100 km/h)
- عالية جداً (< 100 km/h و< 250 km/h)

وينبغي أن ترتبط حدود نطاقات الفئات بالخصائص النمطية للشبكات الراديوية الخليوية. فالحد الأدنى من الوقت الذي يبقى فيه مستعمل في خلية من الخلايا الصغيرة بين التمريرات، يجب أن يكون أطول بكثير من وقت استهلال التمرير وتنفيذه. ومن ثم، فإن حجم خلية من الخلايا الصغيرة يحد من السرعة القصوى المدعومة. ولذلك، تقتصر الخلايا المتناهية الصغر نمطياً على دعم سرعات لا تتعدى سرعات المشاة (حتى 3-10 km/h)، وتدعم الخلايا الصغرية سرعات المركبات في المناطق الحضرية حتى 50 km/h، بينما تغطي الخلايا الموسعة في الشبكات المتنقلة الراديوية الخليوية للنطاق الباقي للسرعات. ومن أجل تطبيق أصناف التنقلية في المنهجية، أعيد تفسير أصناف التنقلية المستخلصة من دراسات السوق على النحو التالي:

- ثابتة/خاصة بالمشاة (4-0 km/h)
- منخفضة (< 4 km/h و< 50 km/h)
- عالية (< 50 km/h)

وقد قُسِّمت حركة صنف التنقلية "العالية" المستخلص من دراسات السوق إلى صنفي التنقلية "المنخفضة" و"المرتفعة" لأغراض المنهجية. وينبغي أن يأخذ هذا التقسيم في الاعتبار نعوت بيئات الخدمة المعنية التي قُدِّم لها في الفقرة 2.4.5 مما قد يؤدي إلى عوامل تقسيم J_m مختلفة في بيئات خدمة m مختلفة. ويبين الجدولان 3 و4 التقابل بين الحركة وأصناف التنقلية، حيث قيم J_m هي مجرد أمثلة:

الجدول 3

التقابل بين أصناف التنقلية

التنقلية في دراسة السوق	التنقلية في المنهجية
ثابتة	ثابتة/خاصة بالمشاة
منخفضة	
عالية	منخفضة (الكسر J_m)
	(الكسر 1 – J_m) عالية
فائقة العلو	

الجدول 4

أمثلة لقيم العامل J_m لتقابل أصناف التنقلية في بيئات الخدمة المختلفة

بيئة الخدمة m	قيمة J_m
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0,5
6	0

وبالإضافة إلى معلمات فئات الخدمة المتصلة بالسوق المحسوبة في الفقرة 2.5.5، تتطلب المنهجية معلمات لا يمكن الحصول عليها من التقرير ITU-R M.2072. وترد هذه المعلمات في الجدول 5 وهي لازمة لحساب السعة في الفقرة 6.

الجدول 5

معلمات فئات الخدمة كمدخلات لخوارزمية حساب الطيف الترددي

فئات الخدمة	SC1	SC2		–		SC20
متوسط حجم الرزم (بتة/الرزمة)		–		–		
العزم الثاني[1] لحجم الرزم ((بتة/الرزمة)^2)		–		–		
متوسط تأخير(تأخيرات) الرزم المسموح به (s)		–		–		
معدل الحجب المسموح (%)		–		–		

[1] العزم الثاني لمتغيّر عشوائي هو قيمة متدرجة تتصل بتغاير المتغيّر العشوائي.

2.4.5 بيئة الخدمة (SE)

تمثل بيئات الخدمة الشروط السائدة لاستعمال الخدمة وحجمها.

وتُعرّف بيئة الخدمة (SE) على أنها توليفة من نمط استعمال الخدمة والكثافة الهاتفية.

1.2.4.5 أنماط استعمال الخدمة

يُعرّف نمط استعمال الخدمة على أنه السلوك الشائع للمستعمل (أو للمستعملين) في منطقة خدمة معيّنة.

ويصنّف نمط استعمال خدمة وفقاً لمنطقة يستفيد فيها مستعملون من خدمات متماثلة ويتوقعون جودة متماثلة في الخدمة. وتُستعمل أنماط استعمال الخدمة التالية في المنهجية:

- المنزل
- المكتب
- الأماكن العامة.

2.2.4.5 الكثافة الهاتفية

حسب التعريف الوارد في التوصية ITU-R M.1390، تعد كثافة السكان وعدد الأجهزة لكل شخص عوامل هامة عند النظر في بيئات الخدمة. وعلى ذلك، تُقسم المنطقة الجغرافية وفقاً لهذه العوامل إلى فئات كثافة هاتفية.

وتتميز كل معلمة من معلمات الكثافة الهاتفية بكثافة السكان وكثافة أجهزة الاتصالات. وتصنف الكثافة الهاتفية ضمن الفئات الآتية:

- حضرية كثيفة
- شبه حضرية
- ريفية.

3.2.4.5 تعريف ونعوت بيئات الخدمة

تعّرف بيئات الخدمة للتوليفات التالية من الكثافة الهاتفية وأنماط استعمال الخدمة وهي مبينة في الجدول 6.

ويعرض الجدول 7 مجموعات المستعملين المحتملين ومثال تطبيق، لكل بيئة خدمة، بغية تزويد القارئ بصورة أوضح لكل من بيئات الخدمة.

وتُحسب الاحتياجات من الطيف أولاً على نحو منفصل لكل كثافة هاتفية. وتُحسب الاحتياجات النهائية من الطيف بأخذ القيمة العظمى بين الاحتياجات لمناطق الكثافة الهاتفية الثلاث (الحضرية الكثيفة وشبه الحضرية والريفية).

الجدول 6

تحديد بيئات الخدمة

الكثافة الهاتفية / نمط استعمال الخدمة	حضرية كثيفة	شبه حضرية	ريفية
المنزل	SE1	SE4	SE6
المكتب	SE2	SE5	
الأماكن العامة	SE3		

الجدول 7

أمثلة لمجموعات المستعملين وتطبيقات بيئات الخدمة

	مجموعات المستعملين	التطبيقات
SE1	مستعمل خاص، مستعمل تجاري	صوتية، نفاذ إلى الإنترنت، ألعاب، تجارة إلكترونية، تعليم عن بعد، تطبيقات متعددة الوسائط
SE2	مستعمل تجاري ، مؤسسة صغيرة أو متوسطة الحجم	صوتية، نفاذ إلى الإنترنت، مؤتمرات فيديوية، تجارة إلكترونية، تطبيقات تجارية متنقلة
SE3	مستعمل خاص، مستعمل تجاري ، مستعمل في الخدمات العامة (مثل سائق حافلة، خدمة طوارئ)، سائح، باعة	صوتية، نفاذ إلى الإنترنت، مؤتمرات فيديوية، تطبيقات تجارية متنقلة، معلومات للسياح، تجارة إلكترونية
SE4	مستعمل خاص، مستعمل تجاري	صوتية، نفاذ إلى الإنترنت، ألعاب، تجارة إلكترونية، تطبيقات متعددة الوسائط، تعليم عن بعد
SE5	مستعمل تجاري، مؤسسة	صوتية، نفاذ إلى الإنترنت، تجارة إلكترونية، مؤتمرات فيديوية، تطبيقات تجارية متنقلة
SE6	مستعمل خاص، مُزارع، مستعمل في الخدمات العامة	صوتية، تطبيقات معلومات

3.4.5 البيئة الراديوية (RE)

تعرَّف البيئات الراديوية بطبقات الخلية في شبكة تتألف من طبقات خلية تراتبية، أي خلايا موسعة وصغرية ومتناهية الصغر وخلايا المناطق الساخنة. وتستعمل المنهجية مساحة الخلية للبيئات الراديوية المختلفة كدخل للحسابات. ولمساحة الخلية تأثير مباشر على الاحتياجات من الطيف التي تعتمد على حجم الحركة. وبطبيعة الحال، لا بد من التوصل إلى عملية تبادلات بين تكاليف نشر الشبكة والاحتياجات من الطيف. وناهيك عن الحدود المفروضة على الأحجام المتصلة بهذين العاملين، هناك أيضاً حدود تقنية. إذ يُحدد الحد التقني الأعلى بظروف الانتشار وبحدود قدرة إرسال المطراف، وبتوزع التأخير بدرجة أقل.

وتحدد الحدود الدنيا لأحجام الخلية بزيادة ظروف التداخل غير المؤاتية، من قبيل ظهور ظروف خط البصر بتواتر مفرط بين الخلايا المتداخلة. ويُفترض أن الحد الأدنى مهمل مقارنة بالحد الذي تفرضه تكاليف النشر.

ونظراً لعدم وجود تفاوت كبير في نشر طبقات الخلية الصغرية والمتناهية الصغر تلك الخاصة بالمناطق الساخنة في مناطق تختلف بكثافتها الهاتفية، يُفترض أن نفس مساحة الخلية "القصوى" لطبقات الخلية تلك يمكن استخدامها في طريقة حساب الطيف الترددي. ولكن يختلف وضع الخلية الموسعة، حيث تؤثر الكثافة الهاتفية في مساحة الخلية المستهدفة وكذلك في نشر محطات القاعدة. وإلى ذلك، يُراعى أن تكون مساحة الخلية الموسعة تابعة للكثافة الهاتفية في حسابات الاحتياجات من الطيف. ويرد في الجدول 8 مثال عن مساحة الخلية القصوى لكل بيئة راديوية وكثافة هاتفية. وتعد قيم مساحة الخلية قيماً مميزة للكثافات الهاتفية المقابلة.

الجدول 8

مثال مساحة الخلية القصوى لكل بيئة راديوية (km^2)*

البيئة الراديوية	الكثافة الهاتفية		
	حضرية كثيفة	شبه حضرية	ريفية
خلية موسعة	0,65	1,5	8,0
خلية صغرية[1]	0,1	0,1	0,1
خلية بيكو[1]	1,6E-3	1,6E-3	1,6E-3
منطقة ساخنة[1]	6,5E-5	6,5E-5	6,5E-5

* لا ينطبق هذا المثال على سيناريو المساحات الكبيرة ذات التغطية منخفضة الكثافة الهاتفية.

(1) يُفترض أن حجم الخلية في هذه البيئات لا يعتمد على الكثافة الهاتفية.

يعتمد تيسر البيئات الراديوية على بيئة الخدمة. وعملياً، لا تغطى المساحة الكاملة لبيئة خدمة معينة إلا بنسبة مئوية معينة X من كل بيئة راديوية، ومثال ذلك الخلايا متناهية الصغر. لذلك، يعرِّف الجدول 9 النسبة المئوية للتغطية السكانية لكل بيئة راديوية في كل بيئة خدمة. والقيم الواردة في الجدول 9 عبارة عن أمثلة. ويحدد الجدول 9 أيضاً توليفات محتملة من بيئات الخدمة والبيئات الراديوية. ويمكن أن تكون النسبة المئوية للتغطية السكانية صفراً لتوليفات معينة، بمعنى أن بيئة راديوية ما ليست منشورة في بيئة خدمة معينة. وتستعمل النسب المئوية للتغطية السكانية في توزيع الحركة بين البيئات الراديوية في الفقرة 6.5.

الجدول 9

مثال النسبة المئوية للتغطية السكانية لبيئات النشر الراديوي في كل بيئة خدمة

بيئة الخدمة	البيئات الراديوية			
	خلية موسعة	خلية صغرية	خلية متناهية الصغر	مناطق ساخنة
1	100	0	0	80
2	100	0	20	80
3	100	80	20	10
4	100	0	0	80
5	100	20	20	20
6	100	0	10	50

4.4.5 مجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG)

تأخذ المنهجية في الحسبان كامل سوق الاتصالات الأرضية التي ستُزود بشتى وسائل الاتصالات من حيث الخدمات والشبكات وفقاً للتوصية ITU-R M.1645. وهناك عدد من مجموعات تقنية النفاذ الراديوي يمكن تحديدها. وتوزع المنهجية الحالية كامل الحركة المتنبأ بها لمجمل سوق الاتصالات الأرضية على مجموعات تقنية النفاذ الراديوي المحددة، وهي:

المجموعة 1: أنظمة ما قبل الاتصالات المتنقلة الدولية (IMT) والاتصالات IMT-2000 وتعزيزاتها.

وتغطي هذه المجموعة الأنظمة الرقمية المتنقلة الخليوية وأنظمة الاتصالات IMT-2000 وتعزيزاتها.

المجموعة 2: الأنظمة التالية للاتصالات IMT-2000 حسب وصفها الوارد في الشكل 2 في التوصية ITU-R M.1645 (مثل النفاذ المتنقل الجديد والنفاذ اللاسلكي الجديد الترحالي/في منطقة محلية)، ويُستثنى من ذلك الأنظمة الموصوفة سابقاً في أي من مجموعات تقنية النفاذ الراديوي الأخرى.

المجموعة 3: شبكات المنطقة المحلية الراديوية القائمة وتعزيزاتها.

المجموعة 4: أنظمة الإذاعة الرقمية المتنقلة وتعزيزاتها.

وتغطي هذه المجموعة الأنظمة ذات التوجه الإذاعي إلى الأجهزة المطرافية المتنقلة والمحمولة باليد.

وتُراعى في جميع مجموعات RATG الأربع حتى الخطوة 4 في المخطط الانسيابي للمنهجية الوارد في الشكل 2، فيما لا تُراعى إلا المجموعتين RATG1 وRATG2 اعتباراً من الخطوة 5 فصاعداً.

وتتميز كل مجموعة RATG بمعلمات ترد في الجداول 10أ إلى 10د. ويُفترض تماثل المعلمات في الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة، لذلك لا حاجة لأكثر من قيمة واحدة لكل معلمة.

ويمكن لبعض فئات الخدمة أن تجني فائدة إضافية من تطبيق مجموعة RATG محددة لأساليب التوزيع المتعدد المتنقل. ويُفهم التوزيع المتعدد المتنقل على أنه إرسال مقصود به مجموعة من المستقبلات. وتلزم وصلة صاعدة، من أجل إدارة المجموعة مثلاً. وتشمل أمثلة الخدمات التي يمكن أن تُقدم بكفاءة في أساليب إرسال التوزيع المتعدد المتنقل الخدمات المتنقلة من النمط التلفزيوني وخدمات الرسائل ذات معدل البيانات المنخفض. ونظراً لإمكانية الاختلاف الكبير في الكفاءات الطيفية لأسلوبي الإرسال، يحتاج الأمر إلى قيم منفصلة للكفاءة الطيفية للمنطقة.

الجدول 10أ

مثال المعلمات الراديوية اللازمة لمجموعة تقنيات النفاذ الراديوي 1 (RATG1)

النعت	RATG1				
	قيمة				
	الوحدة	خلية موسعة	خلية صغرية	خلية متناهية الصغر	مناطق ساخنة[1]
معدل بيانات التطبيقات	Mbit/s	1	1	2,5	–
أصناف التنقلية المدعومة		ثابتة/ خاصة بالمشاة، منخفضة، عالية	ثابتة/ خاصة بالمشاة، منخفضة	ثابتة/ خاصة بالمشاة	–
عرض نطاق الموجة الحاملة (CBW)	MHz	حتى 5	حتى 5	حتى 5	–
النطاق الحارس بين المشغلين	MHz	0	0	0	–
أدنى انتشار لكل مشغل لكل بيئة راديوية (حيث n = 1 أو 2)	MHz	$n \cdot$ CBW	$n \cdot$ CBW	$n \cdot$ CBW	–
عدد الشبكات المنتشرة المتراكبة	رقم	5	5	5	–
إمكانية الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU)	بولانية	لا	لا	لا	–
هامش FSU	مضاعف	1	1	1	
التردد العامل النمطي	MHz	< 2 700	< 2 700	< 2 700	–
دعم التوزيع المتعدد	بولاني	نعم	نعم	نعم	–

[1] ليس للبيئة الراديوية للمناطق الساخنة صلة بالمجموعة RATG1

لا ينطبق هذا المثال على سيناريو المساحات الواسعة ذات التغطية منخفضة الكثافة الهاتفية.

الجدول 10ب

مثال المعلمات الراديوية اللازمة لمجموعة تقنيات النفاذ الراديوي 2 (RATG2)

النعت	RATG2				
	قيمة				
	الوحدة	خلية موسعة	خلية صغرية	خلية متناهية الصغر	مناطق ساخنة
معدل بيانات التطبيقات	Mbit/s	50	100	1 000	1 000
أصناف التنقلية المدعومة		ثابتة/ خاصة بالمشاة، منخفضة، عالية	ثابتة/ خاصة بالمشاة، منخفضة	ثابتة/ خاصة بالمشاة	ثابتة/ خاصة بالمشاة
النطاق الحارس بين المشغلين	MHz	0	0	0	0
أدنى انتشار لكل مشغل لكل بيئة راديوية	MHz	100-50	100-50	100	100
عدد الشبكات المنتشرة المتراكبة	رقم	4-1	4-1	4-1	4-1
إمكانية الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU)	بولانية	نعم	نعم	نعم	نعم
هامش FSU	مضاعف	1	1	1	1
الكفاءة الطيفية للمنطقة	bit/s/Hz/ خلية	4-2	5-2	6-3	10-5
الكفاءة الطيفية للمنطقة من أجل التوزيع المتعدد	bit/s/Hz/ خلية	1,5-1	2,5-1	3-1,5	5-2,5
التردد العامل النمطي	MHz	6 000 >	6 000 >	6 000 >	6 000 >
دعم التوزيع المتعدد	بولاني	نعم	نعم	نعم	نعم

الجدول 10ج

المعلمات الراديوية اللازمة لمجموعة تقنيات النفاذ الراديوي 3 (RATG3)

النعت	RATG3				
	قيمة				
	الوحدة	خلية موسعة	خلية صغرية	خلية متناهية الصغر	مناطق ساخنة
معدل بيانات التطبيقات	Mbit/s	-	-	50	100
أصناف التنقلية المدعومة		-	-	ثابتة/ خاصة بالمشاة	ثابتة/ خاصة بالمشاة
دعم التوزيع المتعدد (نعم = 1، لا = 0)		نعم			

الجدول 10د

المعلمات الراديوية اللازمة لمجموعة تقنيات النفاذ الراديوي 4 (RATG4)

النعت	RATG4	
	الوحدة	خلية موسعة
معدل بيانات التطبيق	Mbit/s	2
أصناف التنقلية المدعومة		كلها (ثابتة/خاصة بالمشاة، منخفضة، عالية)

الملاحظة 1 – تُراعى الخلية الموسعة فقط بالنسبة لمجموعة تقنيات النفاذ الراديوي 4 (RATG4)

تُعرض الكفاءات الطيفية في الجدول 11. وتعتبر المنهجية قيم الكفاءة الطيفية للمنطقة مدخلات للمنهجية. أما في أسلوب إرسال البث المتعدد، فتختلف قيم جدول الكفاءة الطيفية للمنطقة. وسيتم استيعاب الكفاءة الطيفية للمنطقة واستعمالها على أنها محسوبة من متوسط صبيب البيانات المتحقق لجميع المستعملين والذي يتوزع بشكل متجانس في منطقة بيئة النشر الراديوي، وعلى طبقة بروتوكول الإنترنت لخدمات الرزم المبدلة وعلى طبقة التطبيقات لخدمات الدارات المبدلة، من أجل شبكات راديوية محملة بالكامل. وينبغي أن تتسق الكفاءة الطيفية وأقصى معدلات بيانات حافة الخلية القابلة للتحقيق مع التردد العامل النمطي. وفي حساب قيم الكفاءة الطيفية، تراعى الإرسالات المعاد بثها المحتملة في خدمات الرزم المبدلة.

الجدول 11

مصفوفة الكفاءة الطيفية للمنطقة لمجموعة واحدة من تقنيات نفاذ راديوي

الكثافة الهاتفية	RATG رقم *rat*			
	البيئات الراديوية			
	خلية موسعة	خلية صغرية	خلية متناهية الصغر	مناطق ساخنة
حضرية كثيفة	$\eta_{1,rat,1}$ (bit/s/Hz/cell)			
شبه حضرية				
ريفية				

5.4.5 العلاقة بين بيئات الخدمة ومجموعات تقنية النفاذ الراديوي (RATG) والبيئات الراديوية

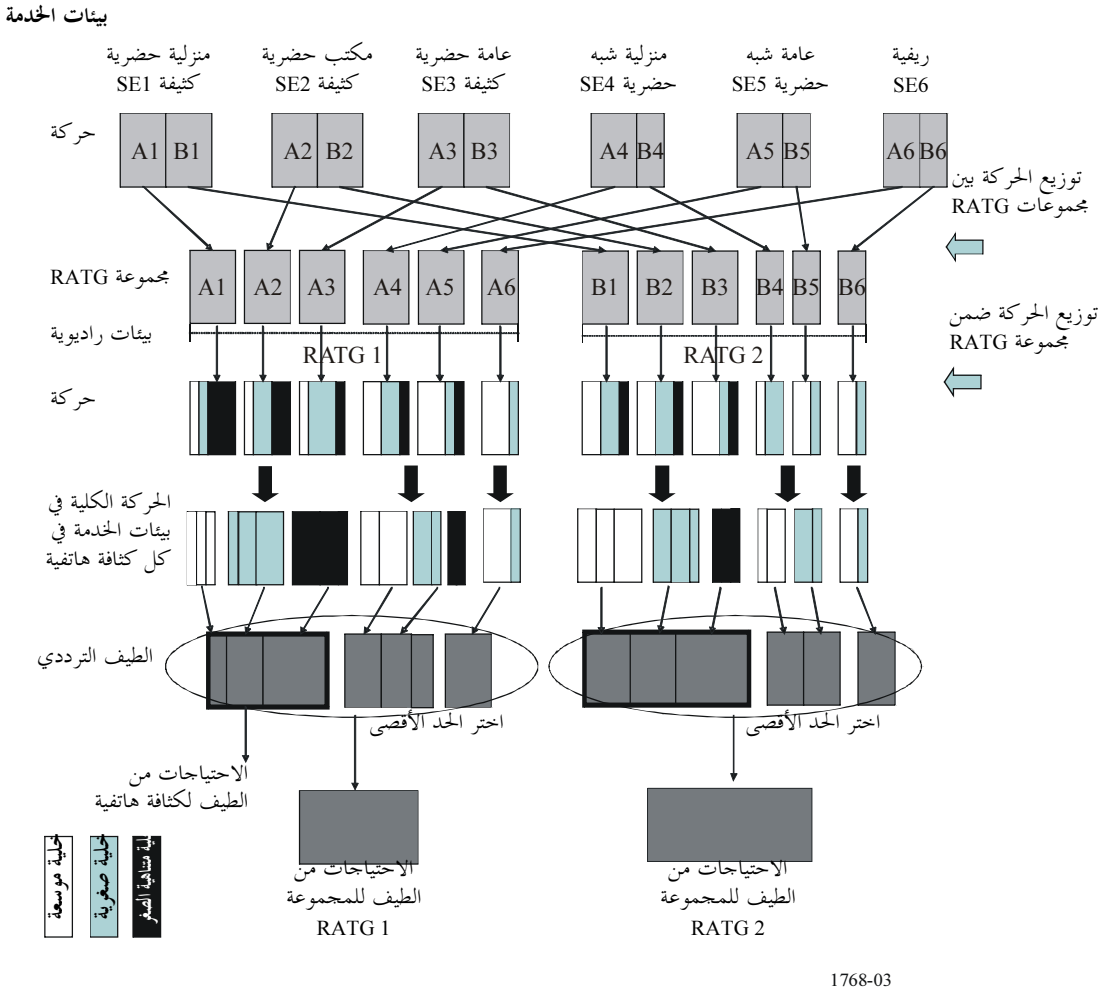
ينبغي النظر في بيئات الخدمة والبيئات الراديوية على نحو منفصل في حساب الطيف بحيث يُتنبأ بطلبات الحركة في إطار بيئات الخدمة فحسب، في حين يُحسب إجمالي الاحتياجات من الطيف على اختلاف مجموعات RATG وبيئاتها الراديوية المحتملة. وتُحسب الاحتياجات من الطيف ضمن كل كثافة هاتفية، ولكن تدعو الحاجة لاختيار الاحتياجات النهائية من الطيف كالحد الأقصى بين الاحتياجات من الطيف لجميع الكثافات الهاتفية. ومن ثم، ينبغي أن تُراكَم الحركة في بيئات الخدمة مع ما يقابلها من الكثافة الهاتفية أولاً.

ويبين الشكل 3 مثالاً عن توزيع الحركة ضمن ست بيئات خدمة ومجموعتين RATG وثلاث بيئات راديوية. ويمكن توزيع طلبات الحركة في كل بيئة خدمة على المجموعتين RATG. ففي الشكل 3 مثلاً، هناك مكونان للحركة في بيئة الخدمة "المنـــزلية الحضرية الكثيفة"، وهما مقدارا الحركة A1 للمجموعة RATG1 وB1 للمجموعة RATG2. وكذلك فإن لبيئات الخدمة "المكتبية الحضرية الكثيفة" و"العامة الحضرية الكثيفة" و"العامة/المنزلية شبه الحضرية" و"الريفية" مقادير حركة لكل مجموعة RATG، كما يُعرض في الشكل 3.

ولما كانت كل مجموعة RATG تدعم بيئة راديوية (RE) واحدة أو أكثر، فإن مقدار طلب الحركة لكل مجموعة RATG عند كل بيئة خدمة (SE) يمكن توزيعه على بيئاتها الراديوية المدعومة، كما يظهر في الصف الثالث من الشكل 3. وتُراكَم الحركة الموزعة لبيئات الخدمة المنتمية لنفس الكثافة الهاتفية في الصف الرابع من الشكل 3. ولكل مجموعة RATG سيناريو النشر الخاص بها لمكون بيئاتها الراديوية، فضلاً عن كفاءتها الطيفية. وتؤثر سيناريوهات النشر هذه، مثل أحجام الخلايا، على الكفاءة الطيفية أيضاً. فمع أخذ هذا الأمر في الاعتبار، يمكن حساب الاحتياجات من الطيف باستعمال طلبات الحركة وعوامل الكفاءة الطيفية. كما يمكن حساب الاحتياجات من الطيف على نحو منفصل استناداً إلى كل حالة مؤلفة من كثافة هاتفية ومجموعة RATG وبيئة راديوية. وتمثل المستطيلات الظاهرة في الصف الخامس من الشكل 3 الاحتياجات من الطيف لمجموعات RATG ضمن كثافات هاتفية مختلفة. وسيكون الحد الأقصى بين الاحتياجات من الطيف لجميع الكثافات الهاتفية لمجموعة RATG هو ما يمثل الاحتياجات من الطيف لمجموعة RATG تلك.

الشكل 3

توزيع الحركة بين بيئات الخدمة ومجموعات تقنية النفاذ الراديوي والبيئات الراديوية



1768-03

5.5 تحليل البيانات المجمعة عن السوق

1.5.5 تجميع بيانات السوق

جُمعت بيانات السوق بالإجابة على الاستبيانات الواردة في وثيقة الرأي في الخدمة (الخطوة 2 في الشكل 2).

وتضم الاستبيانات البنود التالية الرامية لاستطلاع السوق المستقبلية واتجاهات التطبيقات:

– استطلاع الخدمات والسوق بشأن الخدمات المتنقلة الموجودة،

- معلمات السوق الرئيسية،
- التنبؤ بالخدمة والسوق في سياق التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها، بما في ذلك:
  - قضايا الخدمة،
  - قضايا السوق،
  - التنبؤ الأولي بالحركة،
  - معلومات ذات صلة،
- التنبؤ بالخدمة والسوق للأنظمة الراديوية الأخرى،
- القوى المحركة للسوق المستقبلية،
- أي آراء أخرى بشأن الخدمات المستقبلية.

ويرد في التقرير ITU-R M.2072 ملخص عن الإجابات على الاستبيانات وتحليلها. ويرد في الملحق 8 من التقرير، على وجه التحديد، وصف لقيم المدخلات إلى المنهجية. وتُقدَّم بيانات السوق لثلاث نقاط زمنية: وهي الأعوام 2010 و2015 و2020.

2.5.5 تحليل البيانات

مصطلحات من أجل تحليل بيانات السوق

التطبيق: هو تطبيق يتسم بما يكفي من العمومية والأهمية ليصنف فئة جميع الخدمات المجمعة باختصار وبشكل مناسب.

الخدمة: هي عنصر أساسي يتألف منه التطبيق. وتنطوي الخدمات التي يتألف منها التطبيق على افتراض أنها تحدث بمعزل عن بعضها البعض. فمثلاً لا يعتمد استعمال خدمة الفيديو حسب الطلب (VoD) على استعمال الخدمة الصوتية حسب الطلب (AoD). أما الافتراض الثاني فهو أن جميع الخدمات المقابلة لفئة الخدمة نفسها لها خواص متطابقة ومستقلة في نعوت السوق.

معلمات نعت السوق: هي على صلة بمنظور المستعملين. وتستخلص هذه القيم من بيانات السوق.

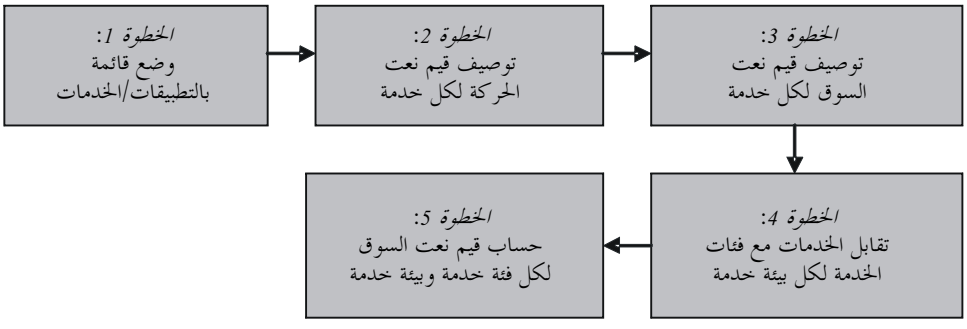
معلمات نعت الحركة: هي على صلة بخصائص حركة الخدمة. وتستخلص هذه القيم من تحليل الاتجاهات التقنية.

1.2.5.5 العملية العامة

يبين الشكل 4 العملية العامة لتحليل بيانات السوق.

الشكل 4

العملية العامة لتحليل بيانات السوق



1768-04

2.2.5.5 وضع قائمة التطبيقات/الخدمات

هي قائمة تدرج جميع التطبيقات والخدمات المنظورة مستقبلاً. ولما كانت قائمة التطبيقات والخدمات أحد العوامل الهامة في حساب الطيف الترددي، ينبغي اختيار الخدمات بحيث لا تتراكب ضمن التطبيق الذي ينبغي أن يتسم بما يكفي من العمومية والأهمية بحيث يصنف جميع الخدمات المجمعة باختصار وبشكل مناسب.

وفي هذه الخطوة، يجب تثبيت قوائم التطبيقات والخدمات وملء العمودين الأول والثاني من الجدول 12. وينبغي تصنيف فئات قائمة التطبيقات/الخدمات الناتجة والمبينة في الجدول 12 طبقاً لنعوتها. وينبغي أن تغطي هذه الفئات جميع فئات التطبيق المنظورة لكي يتسم التقدير بالمصداقية.

الجدول 12

مثال فئات التطبيقات/الخدمات ونعوت الحركة الخاصة بها

التطبيقات	الخدمات		نعوت الحركة	
			متوسط معدل بتات الخدمة	متوسط مدة الدورة
التطبيقات القائمة	صوتية (متعددة الوسائط وبيانات بمعدل منخفض/تحادثية)		kbit/s 64	
	الهاتف المرئي (متعددة الوسائط بمعدل متوسط/تحادثية)		kbit/s 384	
	الرزمة	المتنقلة الدولية (IM)، البريد الإلكتروني (بيانات بمعدل منخفض جداً/الخلفية)	kbit/s 1	
		البريد المرئي (متعددة الوسائط بمعدل متوسط/الخلفية)	kbit/s 512	
		الإذاعة المتنقلة (متعددة الوسائط بمعدل عال/ تدفقية)	Mbit/s 5	
		النفاذ إلى الإنترنت (متعددة الوسائط بمعدل عال)	Mbit/s 10	
أنظمة مراقبة المدينة	صوتية (متعددة الوسائط وبيانات بمعدل منخفض/تحادثية)		kbit/s 64	
	اتصال مرئي (متعددة الوسائط بمعدل متوسط/تحادثية)		kbit/s 384	
	إرسال بيانات بمعدل متوسط لمراقبة معلومات المدينة (متعددة الوسائط بمعدل متوسط/تفاعلية)		kbit/s 384	
	إرسال بيانات بمعدل منخفض للحجز في المطاعم، إلخ. (بيانات بمعدل منخفض جداً/تفاعلية)		kbit/s 1	
	نقل ملفات (متعددة الوسائط بمعدل عال جداً/الخلفية)		Mbit/s 50	

3.2.5.5 تحديد قيم نعوت الحركة لكل خدمة

مع وضع قوائم التطبيقات والخدمات في الخطوة 1 من الشكل 4، تُوصَّف في الخطوة 2 قيم معلمات نعوت الحركة ، من قبيل متوسط معدل بتات الخدمة ومتوسط مدة الدورة لكل خدمة. وبدراسة الخدمات المدرجة في الخطوة 1، تُستخرج نعوت الحركة على النحو الموضح في الجدول 12. ويورد هذا الجدول قيماً نمطية لكل من:

– متوسط معدل بتات الخدمة،

– متوسط مدة الدورة.

وتُستعمل هذه القيم لتفكيك بيانات السوق المجمعة عن التطبيقات، إن لم تكن موصّفة في بيانات السوق المجمعة.

4.2.5.5 تحديد قيم نعوت السوق لكل خدمة

إن طبيعة الحركة المتغيّرة زمنياً وإقليمياً باختلاف مجموعات RATG توفر فرصة لزيادة كفاءة استعمال الطيف بالاستفادة من استعمال الشبكات المنسقة ومخطط الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU). وتتلخص الفكرة الأساسية وراء هذا المفهوم بعدم توزيع مقادير ثابتة ومتساوية جغرافياً من الطيف الترددي لكل مجموعة RATG بعد الآن، بل بالسماح لمجموعات RATG أن تعطي الطيف الترددي لبعضها الآخر أثناء الأوقات التي لا يُستعمل فيها. فإذا تم استعمال مخطط FSU جيد، فلن يوُزَّع من الطيف الترددي إلى شبكة نفاذ راديوي (RAN) إلا القدر اللازم لطلب الحركة. وتُلاحَظ هذه الأنماط المتغيّرة زمنياً في معظم تقنيات النفاذ الراديوي (RAT) جراء تغيّر سلوك المستعمل تبعاً للوقت أثناء اليوم.

ويستدعي حساب الاحتياجات الدينامية من الطيف لمجموعة RATG أن تُقدَّم قيم نعوت السوق من أجل فاصل زمني إفرادي t. وستزيد الوفورات الطيفية القابلة للتحقيق من تطبيق الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU) مع الاستبانة الزمنية التي يمكن تقديم قيم نعوت السوق بواسطتها.

ويقتضي تحليل بيانات السوق توصيف قيم كثافة المستعملين ومعدل وصول الدورة لكل مستعمل ولكل خدمة في كل بيئة خدمة وكل فاصل زمني. وعلاوة على ذلك، يتعين وجود معدلات التنقلية المعرّفة في الفقرة 3.1.4.5 في توزيع الحركة. ويبيّن الجدول 13 مثالاً عن الرد المتوقع على الاستبيان بشأن السوق والخدمات.

5.2.5.5 تقابل الخدمات مع جدول فئات الخدمة لكل بيئة خدمة

وفقاً للجدول 13، يمكن مقابلة كل خدمة مع الجدول الذي يضم نمط الخدمة وصنف الحركة كما يبيّن الجدول 1. وينبغي مقابلة كل الخدمات المدرجة في الجدول 13 مع الجدول 1. وسيجري إعداد هذا الجدول لكل بيئة خدمة بحيث يمكننا وضع ستة جداول لجميع بيئات الخدمة.

6.2.5.5 حساب قيم نعوت السوق لكل فئة خدمة وبيئة خدمة وفاصل زمني

يبين الجدول 13 قيم نعوت السوق لكل خدمة. وفي هذه الخطوة، تُحسب قيم نعوت السوق لكل فئة خدمة (SC) وبيئة خدمة (SE) وفاصل زمني. وتُعرض النتائج في الجدول 14. وتُقدَّم قيم نعوت السوق على نحو منفصل لكل من الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة.

وتُشتق القيم اللازمة لبيئة الخدمة SE m والفاصل الزمني t وفئة الخدمة SC n من قيم معلمات كل خدمة كما يلي:

الجدول 13

الرد المتوقع على الاستبيان بشأن السوق والخدمات

التطبيقات	خدمات s: الدليل	SC n	SE m	نعوت السوق							
				كثافة المستعملين، $U_{m,t,s}$ (المستعملون/km^2)	معدل وصول الدورة/مستعمل $Q_{m,t,s}$ ((دورات/(ثانية*مستعمل))	متوسط معدل بتات الخدمة r_s (bit/s)	متوسط مدة الدورة $\mu_{m,t,s}$ (ثانية/دورة)	نسبة التنقلية (%) $MR_{m,s}$			
								ثابتة	منخفضة	عالية	عالية جداً
أنظمة مراقبة المدينة	مراقبة معلومات المدينة $s = 1$	18	1		–	–	–				
			2		–	–	–				
			3								
					–	–	–				
					–	–	–				
	الحجز $s = 2$										

كثافة المستعملين (المستعملون/km^2) لفئة خدمة معينة هي مجموع كثافات المستعملين لكل خدمة تم تقابلها مع فئة الخدمة.

أما العبارة الرياضية فهي كما يلي:

$$U_{m,t,n} = \sum_{s \in n} U_{m,t,s} \quad (1)$$

حيث تعبّر المعلمتان $U_{m,t,n}$ و$U_{m,t,s}$ عن كثافة المستعملين لفئة الخدمة n وكثافة مستعملي الخدمة s داخل فئة الخدمة n على التوالي.

ومعدل وصول الدورة لكل مستعمل (دورات/(ثانية*مستعمل)) لفئة خدمة معينة هو المتوسط المرجح لمعدل وصول الدورة لكل مستعمل لكل خدمة تم تقابلها مع فئة الخدمة هذه. وترجيح كل خدمة هو كثافة المستعملين.

أما العبارة الرياضية فهي كما يلي:

$$Q_{m,t,n} = \frac{\sum_{s \in n} U_{m,t,s} Q_{m,t,s}}{U_{m,t,n}} \quad (2)$$

حيث تعبّر المعلمتان $Q_{m,t,n}$ و$Q_{m,t,s}$ عن معدل وصول الدورة لكل مستعمل لفئة الخدمة n ومعدل وصول الدورة لكل مستعمل للخدمة s داخل فئة الخدمة n، على التوالي.

ومتوسط مدة الدورة (دورة/ثانية) لفئة خدمة معينة هو المتوسط المرجح لمتوسط مدة الدورة لكل خدمة تم تقابلها مع فئة الخدمة هذه. والترجيح هو معدل وصول الدورة لكل منطقة. ونميّز وحدة الزمن "ثانية" لمدة الدورة عن وحدة الزمن "s" للفاصل الزمني البسيط.

أما العبارة الرياضية فهي كما يلي:

$$\mu_{m,t,n} = \sum_{s \in n} w_{m,t,s} \mu_{m,t,s} \quad (3)$$

حيث:

$$w_{m,t,s} = \frac{U_{m,t,s} Q_{m,t,s}}{U_{m,t,n} Q_{m,t,n}}$$

حيث تعبّر المعلمتان $\mu_{m,t,n}$ و$\mu_{m,t,s}$ عن متوسط مدة الدورة في فئة الخدمة n ومتوسط مدة الدورة في الخدمة s داخل فئة الخدمة n، على التوالي.

ومتوسط معدل بتات الخدمة (bit/s) في فئة خدمة معينة هو المتوسط المرجح لمتوسط معدلات بتات الخدمة لكل خدمة تم تقابلها مع فئة الخدمة هذه. والترجيح هو حجم الحركة (مجموع متوسط مدة كل الدورات التي تصل أثناء وحدة زمنية) لكل منطقة.

أما العبارة الرياضية فهي كما يلي:

$$r_{m,t,n} = \sum_{s \in n} \overline{w}_{m,t,s} r_{m,t,s} \quad (4)$$

حيث:

$$\overline{w}_{m,t,s} = \frac{U_{m,t,s} Q_{m,t,s} \mu_{m,t,s}}{U_{m,t,n} Q_{m,t,n} \mu_{m,t,n}}$$

حيث تعبّر المعلمتان $r_{m,t,n}$ و$r_{m,t,s}$ عن معدل بيانات الخدمة لفئة الخدمة n ومعدل بيانات الخدمة للخدمة s داخل فئة الخدمة n على التوالي.

ونسبة التنقلية في فئة خدمة معينة هو المتوسط المرجح لكل نسبة تنقلية لمستعمل فئة خدمة لكل خدمة تم تقابلها مع فئة الخدمة هذه. ويُفترض ألا تعتمد نسبة التنقلية على الوقت. ويُحسب ترجيح كل خدمة كنسبة الحركة المقدمة لخدمة ما إلى إجمالي الحركة المقدمة لفئة خدمة في بيئة الخدمة.

أما العبارة الرياضية فهي كما يلي:

$$MR_market_{m,t,n} = \sum_{s \in n} \overline{w}_{m,t,s} MR_market_{m,s} \quad (5)$$

حيث تعبّر المعلمتان $MR_market_{m,t,n}$ و$MR_market_{m,t,s}$ عن نسبة التنقلية لفئة الخدمة n ونسبة التنقلية للخدمة s داخل فئة الخدمة n على التوالي. علماً بأن هذه المعادلة يمكن أن تُطبق في كل حالات التنقلية. أما نسب تنقلية دراسة السوق *MR_market* المتحصل عليها آنفاً لكل من التنقلية الثابتة (*sm*) والتنقلية المنخفضة (*lm*) والعالية (*hm*) والعالية جداً (*shm*) فيتعين إجراء تقابل لها مع نسب تنقلية المنهجية *MR* الثابتة/الخاصة بالمشاة (*sm*) والمنخفضة (*lm*) والعالية (*hm*) المستعملة في توزيع الحركة في الفقرة 6.5. ويجرى التقابل وفقاً للفقرة 3.1.4.5 بعوامل - J_m الواردة في الجدول 4. وتستخلص نسبة التنقلية للتنقلية الثابتة من:

$$MR_sm_{m,t,n} = MR_market_sm_{m,t,n} + MR_market_lm_{m,t,n} \quad (6)$$

أما نسبة التنقلية للتنقلية المنخفضة فهي كما يأتي:

$$MR_lm_{m,t,n} = J_m \cdot MR_market_hm_{m,t,n} \quad (7)$$

وأما نسبة التنقلية للتنقلية العالية فهي كما يأتي:

$$MR_hm_{m,t,n} = (1 - J_m) \cdot MR_market_hm_{m,t,n} + MR_market_shm_{m,t,n} \quad (8)$$

الجدول 14

بيانات السوق لفئة خدمة في بيئة خدمة

فئة الخدمة	بيئة الخدمة					
	SE1	**SE2**	**SE3**	**SE4**	**SE5**	**SE6**
SC1	$U_{1,t,1}$ $Q_{1,t,1}$ $\mu_{1,t,1}$ $r_{1,t,1}$ $MR_{1,t,1}$	$U_{2,t,1}$ $Q_{2,t,1}$ $\mu_{2,t,1}$ $r_{2,t,1}$ $MR_{2,t,1}$	...	...	...	$U_{6,t,1}$ $Q_{6,t,1}$ $\mu_{6,t,1}$ $r_{6,t,1}$ $MR_{6,t,1}$
SC2	$U_{1,t,2}$ $Q_{1,t,2}$ $\mu_{1,t,2}$ $R_{1,t,2}$ $MR_{1,t,2}$	...	...	...	...	...
SC3	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...

6.5 توزيع الحركة بين تقنيات النفاذ الراديوي وبين البيئات الراديوية داخل كل مجموعة تقنية نفاذ راديوي (RATG)

ستوزَع الحركة المتحصلة لكل بيئة خدمة وفاصل زمني وفئة خدمة على مجموعات RATG والبيئات الراديوية المحتملة. ويقابل ذلك الخطوة 4 في المخطط الانسيابي التنوعي للمنهجية في الشكل 2.

وتُدعم كل بيئة خدمة بواحدة أو أكثر من مجموعات RATG. لذا يمكن للحركة لكل بيئة خدمة (SE) أن تُوزَّع ثانية على الحركة لكل مجموعة RATG.

وتُستعمل المدخلات التالية لتوزيع الحركة:

- يتم الحصول على قيم حركة فئة الخدمة (SC) وبيئة الخدمة (SE) كنتيجة للخطوة 3 في الشكل 2، انظر الجدول 14.
- مصفوفة تعريف بيئة الخدمة وفقاً للخطوة 1 في الشكل 2 بما فيها البيئات الراديوية الملائمة والنسب المئوية للتغطية السكانية لكل بيئة خدمة، انظر الجدول 9.
- مصفوفات تعريف المجموعات RATG وفقاً للخطوة 1 في الشكل 2، انظر الجداول من 10أ إلى 10د.
- نسب التوزيع بين مجموعات RATG المتيسرة، انظر الجدول 16.

ومن ناحية الخرج، تولد العملية حركة مقدمة، لكل فئة خدمة n في كل بيئة خدمة m وفاصل زمني t، تُقسَّم على مجموعات RATG والبيئات الراديوية. فإذا قُدمت فئة خدمة باستعمال جداول زمنية قائمة على الحجز (تبديل دارات)، سيعطى الخرج بصيغة متوسط معدل وصول الدورة ومتوسط معدل بتات الخدمة لفئة خدمة n في بيئة خدمة m وفاصل زمني t لكل خلية أو

قطاع في مجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية RE *p*. وتُحسب هذه القيم في الفقرة 1.3.6.5. أما إذا قُدمت فئة خدمة باستعمال جداول زمنية قائمة على الرزم، فسيعطى الخرج بصيغة إجمالي معدل البتات لفئة الخدمة *n* في بيئة الخدمة *m* وفاصل زمني *t* لكل خلية أو قطاع في مجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية RE *p*. وتُحسب هذه القيمة في الفقرة 2.3.6.5.

1.6.5 نسب التوزيع

توزَع معدلات وصول الدورة على مجموعات RATG والبيئات الراديوية بنسب توزيع $\xi_{m,t,n,rat,p}$. وتُشتق نسب التوزيع على نحو منفصل لمختلف فئات الخدمة وفي مختلف بيئات الخدمة والفواصل الزمنية المختلفة لحركة الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة بحكم اختلاف قيم الحركة.

وتُستعمل القواعد التالية لاشتقاق العوامل $\xi_{m,t,n,rat,p}$. وتمتثل القواعد للمدخلات المعرّفة في الفقرة السابقة.

وتُحدد نسب التوزيع على ثلاث مراحل.

المرحلة 1 يُحدَّد فيها أي من توليفات المجموعات RATG والبيئات الراديوية لا يسعها دعم فئة خدمة معينة في بيئة خدمة معينة. وتُضبط نسب التوزيع المقابلة على 0 بينما تُضبط التوليفات الممكنة على 1. وتضبط المرحلة 1 نسب التوزيع على القيمة صفر في الحالات التالية:

- مجموعة RATG4 لفئات خدمة البث الأحادي؛
- البيئات الراديوية (RE) غير الموجودة في بيئة الخدمة قيد الاعتبار من تعاريف بيئة الخدمة الواردة في الجدول 9؛
- البيئات الراديوية التي لا تدعمها مجموعة RATG معينة من تعاريف RATG الواردة في الجداول من 10أ إلى 10د؛
- توليفة مجموعات RATG البيئات الراديوية التي يقل فيها معدل بيانات التطبيق، من تعاريف المجموعات RATG الواردة في الجداول من 10أ إلى 10د، عن معدل البيانات اللازم لفئة خدمة معينة والذي يُتحصل عليه من تعاريف فئة الخدمة الواردة في الجدول 14؛
- بيئة راديوية لخلية موسعة لمجموعات RATG لا تدعم المدى الكامل للسرعات المصاحبة لصنف التنقلية العالية المدرج في الجداول من 10أ إلى 10د.

ويكون خرج المرحلة 1 عبارة عن جدول يضم احتمالات التوليفات التي ضُبطت عند الصفر أو الواحد. ويورد الجدول 15 مثالاً محدوداً بثلاث بيئات خدمة (SE) وست فئات خدمة (SC) في مجموعة RATG واحدة وفاصل زمني واحد. ومن شأن الجدول الكامل أن يضم بيئات الخدمة الست وفئات الخدمة العشرين برمتها.

الجدول 15

مثال لتوليفات ممكنة لبيئات خدمة (SE) وفئات خدمة (SC) وبيئات راديوية (RE) في مجموعة RATG واحدة وفاصل زمني بعد المرحلة 1 من توزيع الحركة

فئة الخدمة	SE1				SE2				SE3			
	موسعة	صغرية	متناهية الصغر	مناطق ساخنة	موسعة	صغرية	متناهية الصغر	مناطق ساخنة	موسعة	صغرية	متناهية الصغر	مناطق ساخنة
SC_1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
SC_2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
SC_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC_5	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
SC_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

توزع *المرحلة 2* الحركة بين مجموعات RATG. وتتوقف نسبة توزيع مجموعات RATG على مجموعات RATG المتيسرة في كل بيئة راديوية وبيئة خدمة. وتحدد المرحلة 1 في الجدول 15 مجموعات RATG المتيسرة في بيئة خدمة معينة لكل بيئة راديوية وفئة خدمة. ويجري التوزيع بين مجموعات RATG المتيسرة بقيم التوزيع المعروضة في الجدول 16 وهي قيم معلمة الدخل إلى المنهجية. وتُقرأ نسب توزيع RATG، لكل توليفة من فئة خدمة وبيئة راديوية وفاصل زمني، من الجدول 16 من الصف الذي يقابل تيسر مجموعات RATG للتوليفة المعطاة من الجدول 15. وتعد القيم الواردة في الجدول 16 مثالاً عن قيم التوزيع.

الجدول 16

مثال عن نسب التوزيع بين مجموعات RATG المتيسرة

مجموعات RATG المتيسرة	نسبة التوزيع (%)			
	RATG1	RATG2	RATG3	RATG4
1	100	–	–	–
2	–	100	–	–
3	–	–	100	
4	–	–	–	100
1، 2	20	80	–	
1، 3	20	–	80	
1، 4	10	–	–	90
2، 3	–	20	80	
2، 4	–	10	–	90
3، 4	–	–	10	90
1، 2، 3	20	20	60	
1، 2، 4	10	10	–	80
1، 3، 4	10	–	10	80
2، 3، 4	–	10	10	80
1، 2، 3، 4	10	10	10	70

توزع *المرحلة 3* الحركة فيما بين البيئات الراديوية استناداً إلى نسب التنقلية والنسب المئوية للتغطية.

وتحدد المنهجية أصناف التنقلية الثابتة/الخاصة بالمشاة، والمنخفضة والعالية. ويجري تقابل أصناف التنقلية مع البيئات الراديوية على النحو التالي:

تنقلية عالية: البيئة الموسعة فقط.

تنقلية منخفضة: البيئتان الصغرية والموسعة.

الثابتة/الخاصة بالمشاة: البيئات الراديوية كافة.

ويُفترض تماثل تقابل أصناف التنقلية مع البيئات الراديوية لجميع مجموعات RATG. ويتم اختيار مجالات السرعة وأصناف التنقلية والسرعة القصوى المدعومة للمعلمة في كل بيئة راديوية وفقاً لذلك.

ويتبع توزيع الحركة مبدأ استعمال البيئة الراديوية التي تقدم أدنى دعم للتنقلية بحيث يلبي المتطلبات، لا أكثر. والسبب هو أن خلايا المناطق الساخنة والخلايا المتناهية الصغر تقدم بصفة عامة سعة أكبر وكفاءة طيفية أعلى من الخلية الصغرية، وينطبق الأمر نفسه على العلاقة بين الخلية الصغرية والخلايا الموسعة. وعملاً بهذا المبدأ فحسب، تتوجه كل الحركة الثابتة/الخاصة

بالمشاة نحو خلايا المناطق الساخنة والخلايا المتناهية الصغر، وتتوجه كل التنقلية المنخفضة نحو الخلايا الصغرية، وكل التنقلية العالية نحو الخلايا الموسعة (ويُشترط عادةً بشرط تيسر البيئات الراديوية الخاصة بكل منها، وإلا فإن الحركة تتجه نحو البيئة الراديوية التالية الداعمة لتنقلية أعلى). ولكن في الواقع العملي لا تغطي كل بيئة راديوية، مثل الخلايا متناهية الصغر، المساحةَ الكلية لبيئة خدمة معينة إلا بنسبة مئوية معينة X.

ويحدد الجدول 9 النسبة المئوية للتغطية السكانية لكل بيئة راديوية في كل بيئة خدمة. والنسب المئوية للتغطية السكانية مستقلة عن مجموعة RATG. ولكن إذا لم تدعم مجموعة RATG بيئة راديوية معينة على الإطلاق، يتعين أن يُضبط معدل بيانات حافة الخلية المقابل لتوليفة RATG/البيئة الراديوية هذه عند الصفر، بحيث تفرض المرحلةُ 1 من توزيع الحركة نسبة التوزيع المقابلة البالغة صفراً.

وتفرض النسبة المئوية للتغطية السكانية حداً على كمية الحركة من حيث كثافة الحركة الممكن توزيعها على هذه البيئة الراديوية. فباستعمال معلومات النسبة المئوية للتغطية السكانية X_{hs} وX_{pico} وX_{micro} وX_{macro} للبيئات الراديوية للمناطق الساخنة والمتناهية الصغر والصغرية والموسعة، توزع الخوارزمية نسب الحركة التالية على البيئات الراديوية للمناطق الساخنة والمتناهية الصغر والصغرية والموسعة:

$$\xi_{pico\&hs} = \min(X_{pico} + X_{hs},\ MR_sm) \tag{9}$$

$$\xi_{micro} = \min(X_{micro},\ (MR_sm + MR_lm) - \xi_{pico\&hs}) \tag{10}$$

$$\xi_{macro} = 1 - \xi_{pico\&hs} - \xi_{micro} \tag{11}$$

MR_sm وMR_lm هما نسبتا الحركة المقدمة في صنفي التنقلية الثابتة والمنخفضة على التوالي. وتفترض المعادلات أن:

$$MR_sm + MR_lm + MR_hm = 1 \tag{12}$$

وتوزع الحركة بين خلايا المناطق الساخنة والخلايا متناهية الصغر وفق علاقة نسب التغطية السكانية في خلايا المناطق الساخنة والخلايا متناهية الصغر:

$$\xi_{hs} = \xi_{pico\&hs} \cdot X_{hs}/(X_{pico} + X_{hs}) \tag{13}$$

$$\xi_{pico} = \xi_{pico\&hs} \cdot X_{pico}/(X_{pico} + X_{hs}) \tag{14}$$

وتعامَل فئات الخدمة التي يمكن تقديمها بالبث المتعدد على نحو مختلف. فهي توزَع دوماً على مجموعات RATG التي تدعم أسلوب إرسال البث المتعدد وفئة الخدمة المعطاة وعلى البيئة الراديوية ذات أكبر عدد من الخلايا المتيسرة، أي تُضبط نسب التوزيع للخلية الأكبر حجماً بالمجموعات RATG هذه عند واحد. ويقابل ذلك الحالة التي تقدم فيها كل مجموعات RATG هذه خدمة البث المتعدد في آن واحد. ولا يُعتد بنسبة التغطية السكانية في حالة البث المتعدد، لأن حركة البث المتعدد لا تأخذ كثافة المستعملين في الاعتبار. علماً أنه نتيجة لهذه القاعدة، يمكن توزيع فئة خدمة على عدة مجموعات RATG، ويمكن أن يتعدى مجموع نسب التوزيع على مجموعات RATG قيمة الواحد.

الملاحظة 1 – لا تأخذ هذه المنهجية في الحسبان تماثل أو اختلاف محتوى خدمة بيانات البث المتعدد المسلّم لمختلف بيئات الخدمة في الخلية نفسها (إذ تقل الاحتياجات من الطيف في حالة تماثل بيانات البث المتعدد عنها في حالة اختلافها).

2.6.5 توزيع معدلات وصول الدورة

يُحسب معدل وصول الدورة لكل منطقة (دورات/(ثانية*كم^2)) لفئة الخدمة n وبيئة الخدمة m الموزعة على مجموعة RATG rat والبيئة الراديوية p في فاصل زمني t، $P_{m,t,n,rat,p}$، من نسبة التوزيع $\xi_{m,t,n,rat,p}$ وكثافة المستعملين $U_{m,t,n}$ ومعدل وصول الدورة لكل مستعمل $Q_{m,t,n}$ (الوارد في الفقرة 6.2.5.5) بالمعادلة التالية:

$$P_{m,t,n,rat,p} = \xi_{m,t,n,rat,p} \cdot U_{m,t,n} \cdot Q_{m,t,n} \tag{15}$$

ومجموع نسب التوزيع عبر دليل المجموعات RATG، *rat*، ودليل البيئة الراديوية، *p*، يساوي واحداً، أي أن $\sum_{rat}\sum_{p}\xi_{m,t,n,rat,p}=1$. وبالتالي، $\sum_{rat}\sum_{p}P_{m,t,n,rat,p}=U_{m,t,n}\cdot Q_{m,t,n}$.

ويجب أن تُراكم الحركة الواردة من كل المستعملين في أي خلية. ويحسب معدل وصول الدورة لكل خلية (دورات/ثانية*خلية)) كما يلي:

$$P'_{m,t,n,rat,p}=P_{m,t,n,rat,p}\cdot A_{d,p} \tag{16}$$

حيث $A_{d,p}$ هي مساحة الخلية (km^2) لمجموعة RATG *rat* في الكثافة الهاتفية *d* والبيئة الراديوية *p*، وحيث تحدد *m* (في الجدول 6) القيمة التي تنفرد بها *d*. وتمثل $P'_{m,t,n,rat,p}$ معدل وصول الدورة لكل خلية من فئة الخدمة *n* في المجموعة RATG *rat* وفي بيئة الخدمة *m* والبيئة الراديوية *p* والفاصل الزمني *t*.

وتُستعمل معادلة منفصلة لأسلوب إرسال البث المتعدد المتنقل.

3.6.5 حساب الحركة المقدمة

يتعين وجود الحركة المقدمة لكل فئة خدمة لحساب الاحتياجات من الطيف. إذ يُقدَّم الصنف التحادثي والتدفقي (فئات الخدمة 1 إلى 10) بتبديل الدارات، فيما يُقدَّم صنفا الخلفية والتفاعلي (فئات الخدمة 11 إلى 20) بتبديل الرزم. لذا، تُحسب الحركة المقدمة وفق قيم الدخل المطلوبة لطريقة حساب تبديل الدارات أو الرزم. كما يجب أن تُراكم الحركة في بيئات الخدمة التي تنتمي إلى الكثافة الهاتفية نفسها وهو ما يتبين في الجدول 6.

1.3.6.5 الحركة بتبديل الدارات

بالنسبة لتبديل الدارات، يُستعمل معدل وصول الدورة $P'_{m,t,n,rat,p}$ من وظيفة التوزيع ومتوسط مدة الدورة $\mu_{m,t,n}$ كدخل لحساب السعة. وبعبارة رياضية، فإن هذا الناتج يساوي الحركة المقدمة مقاسةً بوحدة إرلانغ (Erlang).

ويُجمع إجمالي قيم ناتج معدل وصول الدورة لكل خلية ومتوسط مدة الدورة لمختلف الكثافات الهاتفية *d* لحساب الحركة المقدمة $\rho_{d,t,n,rat,p}$ (ثانية/(ثانية*خلية)) التي تُشتق كما يلي:

$$\rho_{d,t,n,rat,p}=\sum_{m\in d}P'_{m,t,n,rat,p}\mu_{m,t,n} \tag{17}$$

ويمثل ذلك مجموع متوسط مدد جميع دورات فئة الخدمة *n* التي تصل لكل وحدة من وحدات الوقت في خلية ذات كثافة هاتفية *d* ومجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية *p* وفاصل زمني *t*. ويُعبر عن وحدة $\rho_{d,t,n,rat,p}$ أيضاً (بإرلانغ/خلية).

ويُستخلص إجمالي قيم متوسط معدل بتات الخدمة $r_{d,t,n,rat,p}$ (بتة/ثانية) للكثافة الهاتفية *d* كما يلي:

$$r_{d,t,n,rat,p}=\frac{\sum_{m\in d}P'_{m,t,n,rat,p}\mu_{m,t,n}r_{m,t,n}}{\rho_{d,t,n,rat,p}} \tag{18}$$

يُفترض تقديم فئات خدمة البث المتعدد إلى عدة مستعملين في نفس الوقت باستعمال مورد راديوي مشترك. لذلك، يُفترض إهمال كثافة المستعملين. ومن ثم يُنفذ توزيع الحركة على مجموعات RAT الداعمة للبث المتعدد المتنقل وعلى البيئات الراديوية بتوزيع معدل وصول الدورة $P'_{m,t,n,rat,p}=\xi_{m,n,rat,p}\cdot Q_{m,t,n}$.

2.3.6.5 الحركة بتبديل الرزم

يقتضي حساب السعة في فئات خدمة الرزم المبدلة التعبير عن الحركة المقدمة بوحدة البتة/(ثانية*خلية)). وتعطى الحركة المقدمة على أنها إجمالي الحركة المقدمة في بيئات الخدمة التي تنتمي إلى الكثافة الهاتفية نفسها. وتمثل $T_{d,t,n,rat,p}$ الحركة المقدمة لفئة الخدمة n بالنسبة إلى مجموعة RATG *rat* في بيئة راديوية p ومن أجل كثافة هاتفية d وفاصل زمني مختلف t. وهي تُستخلص من:

$$T_{d,t,n,rat,p} = \sum_{m \in d} P'_{m,t,n,rat,p} \mu_{m,t,n} r_{m,t,n} \quad (19)$$

ويمثل ذلك مجموع عدد البتات الواردة في كل دورات فئة الخدمة n التي تصل لكل وحدة من وحدات الوقت في خلية ذات كثافة هاتفية d ومجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية p وفاصل زمني t.

6 تحديد سعة النظام اللازمة والاحتياجات من الطيف

في الخطوة 6 من الشكل 2، تُحدَد سعة النظام اللازمة لتخدم الحركة الأساسية المقدمة مع تلبية احتياجات نوعية الخدمة لكل فئة خدمة n من أجل كل مجموعة *RATG rat* وبيئة راديوية p وفي كل كثافة هاتفية d وفاصل زمني t. وتُحدد سعة النظام اللازمة والمقدرة بوحدات bit/s، على نحو منفصل للحركة بتبديل الدارات (أي القائمة على الحجز) وللحركة بتبديل الرزم. ويُرمز إلى عدد فئات الخدمة بتبديل الدارات بالرمز N_{cs} في حين يُرمز إلى عدد فئات الخدمة القائمة على الرزم بالرمز N_{ps}، حيث ترمز $N = N_{cs} + N_{ps}$ إلى العدد الكلي لفئات الخدمة.

ونتائج هذه الحسابات عبارة عن سعة النظام اللازمة $C_{d,t,rat,p,cs}$ و$C_{d,t,rat,p,ps}$ [بتة/(ثانية*خلية)] للحركة بتبديل الدارات وبتبديل الرزم على التوالي.

وتمثل $C_{d,t,rat,p,cs}$ سعة النظام اللازمة لتلبية احتياجات نوعية الخدمة لجميع فئات الخدمة بتبديل الدارات في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t ومجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية p، بينما $C_{d,t,rat,p,ps}$ هي سعة النظام اللازمة لتلبية احتياجات نوعية الخدمة لجميع فئات الخدمة بتبديل الرزم في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t ومجموعة RATG *rat* وبيئة راديوية p.

1.6 حساب سعة النظام اللازمة للحركة بتبديل الدارات

تحدَد سعة النظام اللازمة لفئات الخدمة بتبديل الدارات (أي القائمة على الحجز) بعدد قنوات الخدمة اللازمة لتحقيق احتمال حجب محدد ومعدل بيانات القناة. وتعد نظرية إرلانغ (Erlang) الشهيرة مناسبةً لحساب السعة اللازمة للحصول على احتمال حجب يقل عن أو يساوي قيمة محددة [Kleinrock، 1975]. وفيما يلي معلمات الدخل المطلوبة لتحديد قنوات الخدمة اللازمة للدورات بتبديل الدارات:

- الحركة المقدمة بوحدة إرلانغ لكل خلية أو قطاع $\rho_{d,t,n,rat,p}$ (الفقرة 1.3.6.5).
- معدل بيانات قناة الخدمة $r_{d,t,n,rat,p}$ لفئة الخدمة n (الفقرة 1.3.6.5).
- الحد الأقصى المسموح لاحتمال الحجب π_n، الذي ترد قيمه في الجدول 5 (الفقرة 3.1.4.5).

وتُمثَل $\rho_{d,t,n,rat,p}$ و$r_{d,t,n,rat,p}$ فيما يلي بالرمزين ρ_n وr_n على التوالي تسهيلاً للقراءة.

وبأخذ الكسب المتأتي من تقاسم القنوات في الحسبان، يمكن توسيع صيغة Erlang-B لتشمل الحالة متعددة الأبعاد التي تتيح أيضاً لكل نداء أن يشغل عدة قنوات في نفس الوقت كالتالي: نفترض أن نداءات من أصناف N_{cs} تتقاسم مجموعة عددها v من القنوات وأن كل نداء من صنف n يتطلب v_n قناة بصورة متآونة ($1 \le n \le N_{cs}$). فإذا وجد نداء وارد من صنف n أقل من v_n قناة في الراحة، فإنه يُحجَب ويضيع؛ ولتكن $v \equiv (v_1, v_2, ..., v_{Ncs})$. وتصل النداءات من صنف n في عملية Poisson بمعدل P_n بغض النظر عن الأصناف الأخرى، ولها عدد مرات حجز موزعة أسياً متوسطها μ_n بحيث أن ρ_n هي الحركة المقدمة من صنف n. وتحرَر كل القنوات التي يستعملها نداء عند انتهاء وقت الانشغال.

ولتكن حالة النظام $i \equiv (i_1, i_2,..., i_{N_{CS}})$ حيث i_m هو عدد النداءات من صنف m التي تستعمل القنوات حالياً. عندئذ، تتخذ دالة كتلة الاحتمالات في الحالة المستقرة شكلاً جدائياً بسيطاً:

$$P(i) = G(v)^{-1} \prod_{m=1}^{N_{cs}} \frac{(\rho_m)^{i_m}}{i_m!} \tag{20}$$

حيث:

$$G(k) = \sum_{\{i:0 \le v \cdot i \le k\}} \prod_{m=1}^{N_{cs}} \frac{(p_m)^{i_m}}{i_m!}, \qquad 1 \le k \le v \tag{21}$$

وحيث $v \cdot i \equiv \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m i_m$ هو عدد القنوات المستعملة عندما تكون حالة النظام i.

وعلى ذلك يعطى احتمال حجب النداءات من الصنف n بالصيغة التالية:

$$B_n(v) = \sum_{\{i:v \cdot i > v - v_n\}} P(i) = 1 - \frac{G(v - v_n)}{G(v)} \tag{22}$$

ولما كان الحساب البدائي للدالة $G(k)$ بالمعادلة (18) ينطوي على صعوبات حسابية، فقد وُضعت عدة خوارزميات فعالة، ومنها خوارزمية تكرارية أحادية البعد وضعها Kaufman [1981] وRoberts [1981] وهي خوارزمية بسيطة يُفضَّل استعمالها حسابياً. وقد عُدلت خوارزميتهما لتكون مناسبة للحساب المتكرر في المشكلة العكسية المتمثلة في تحديد سعة نظام لتلبية احتياجات المستعمل من حيث احتمالات الحجب [Takagi *et al.*، 2005].

وعلى وجه التحديد، نحسب $G(k), k = 1,2...,v$، تكرارياً بدءاً من $G(0) = 1$ وذلك بواسطة:

$$G(k) = \frac{1}{k} \left[\sum_{j=0}^{k-1} G(j) + \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m \rho_m G(k - v_m) \right] \tag{23}$$

حيث $G(k) = 0$ من أجل $k < 0$. وتعطي هذه الخوارزمية احتمالات الحجب لأنظمة يصل عدد قنواتها حتى v قناة دفعة واحدة، حيث $O(N_{cs}v)$ هو الوقت المستغرق في الحساب و $O(v)$ هي احتياجات الذاكرة.

ويُستعمل النموذج والخوارزمية أعلاه لحساب احتمال الحجب لكل من فئات الخدمة N_{cs} عندما يكون العدد الكلي للقنوات، v، معلوماً. وبالطريقة العكسية، يُحسب العدد الكلي للقنوات بحيث يفي بالشرط الخاص باحتمال الحجب لكل فئة خدمة يطلبها المستعمل. وتُشتق سعة النظام بضرب العدد الكلي للقنوات المطلوبة في معدل البتات لكل قناة.

وتيسيراً للأمر، لتكن r (bit/s) هي وحدة معدل بتات الخدمة لكل قناة. وعندما يكون معدل بتات الخدمة للفئة n هو r_n، تعطى المعلمة v_n المزمع استعمالها في الصيغة أعلاه بواسطة:

$$v_n = \lceil r_n / r \rceil, \quad 1 \le n \le N_{cs} \tag{24}$$

حيث يرمز $\lceil x \rceil$ إلى أصغر عدد صحيح يزيد عن أو يساوي x (دالة السقف). وهذا يعني أن القنوات يجري عدّها باستعمال r كوحدة معدل بيانات لكل فئة خدمة.

وبفرض أن π_n هو احتمال الحجب لفئة الخدمة n التي يطلبها المستعمل. وعلى ذلك، يُشتق عدد القنوات المطلوبة لكل خلية، κ، من أصغر v يحقق الشرطين التاليين في آن واحد:

$$B_n(v) < \pi_n, \quad 1 \le n \le N_{cs} \tag{25}$$

وأخيراً، تعطى سعة النظام المطلوبة $C_{d,t,rat,p,cs}$ (بتة/(ثانية*خلية)) لجميع الفئات بتبديل الدارات بواسطة:

$$C_{d,t,rat,p,cs} = \kappa \times r \quad (26)$$

2.6 حساب سعة النظام اللازمة للحركة بتبديل الرزم

تحدَد سعة النظام اللازمة لتلبية احتياجات متوسط تأخير كل فئة خدمة باستعمال نموذج الاصطفاف الانتظاري المطبق أوقات الوصول المستقلة للرزم والتوزيع الاعتباطي لحجم الرزمة. ويُعرف النموذج في نظرية الاصطفاف الانتظاري كنموذج الاصطفاف الانتظاري M/G/1 ذي الأولويات غير المستبقة أو كنظام الاصطفاف الانتظاري لرأس الخط [Klienrock، 1976]. وتعني الأولوية غير المستبقة أنه عند وصول مهمة ذات أولوية أعلى من المهمة الراهنة، لا تُقاطع خدمة المهمة الراهنة، ولكنها تُستكمل قبل الشروع بخدمة المهمة الواصلة حديثاً ذات الأولوية الأعلى. ويُستعمل مستوى أولوية واحد لكل فئة خدمة قائمة على الرزم، ولكن يجوز أيضاً تجميع عدة فئات خدمة ضمن أولوية واحدة. وتُخزن الرزم الواردة في صف انتظار منفصل. ويُطبق نظام تقديم الخدمة أولاً لمن يأتي أولاً (FCFS)، داخل الصف الانتظاري لكل مستوى أولوية.

وتنمذَج تقنية النفاذ الراديوي (RAT) هنا على أن لها قناة واحدة بالرزم فقط، بصرف النظر عن عدد القنوات المستعملة على التوازي في تقنية RAT حقيقية، وذلك بسبب تعذر الحصول على كسب من تقاسم القنوات عند تعدد إرسال رزم مخزنة في صف انتظار كي تُرسل عبر واحدة أو أكثر من القنوات المتوازية. وتُهمل هنا بعض بتات الخدمة الزائدة النذيرة الناتجة عن التفتت والملء عند استعمال قنوات متعددة ومتوازية بمعدل بتات متوسط عوضاً عن قناة واحدة ذات سعة مساوية ومعدل بتات مرتفع. ويحدد حجم الرزمة ومعدل إرسال البيانات مدة الخدمة في نظام الاصطفاف الانتظاري.

ويتطلب تحديد سعة النظام المطلوبة لحركة الرزم معلمات الدخل الآتية:

- الحركة الأساسية المقدمة لكل بيئة خدمة وكل خلية $T_{d,t,n,rat,p}$ (بتة/(ثانية*خلية)) من الفقرة 2.3.6.5.
- متوسط s_n (بتات/رزمة) والعزم الثاني $s_n^{(2)}$ (بتات^2/رزمة) لتوزيع حجم رزمة بروتوكول الإنترنت (IP) في كل فئة خدمة n واردة في الجدول 5.
- متوسط التأخير D_n المطلوب لكل فئة خدمة واردة في الجدول 5.
- ترتيب الأولويات لجميع فئات الخدمة n مع كون $n = 1, 2, ..., N_{ps}$. ويُفترض أن فئة الخدمة $n = 1$ لها أعلى أولوية، أي أن رزم IP لفئة الخدمة $n = 1$ تُخدم أولاً. أما فئة الخدمة $n = N_{ps}$ فلها أدنى أولوية. ويكافئ ترتيب أولويات فئات الخدمة ترقيم فئة الخدمة.

ويُشتق المعدل الناتج لوصول رزم IP لكل خلية λ_n (رزم/(ثانية*خلية)) لفئة خدمة n بقسمة الحركة الأساسية المقدمة على متوسط حجم الرزمة (الجدول 5):

$$\lambda_{d,t,n,rat,p} = \frac{T_{d,t,n,rat,p}}{s_n} \quad (27)$$

وتسهيلاً للقراءة، تُحذف الأدلة d وt وrat وp بحيث يُرمز إلى $\lambda_{d,t,n,rat,p}$ بمجرد λ_n حتى آخر هذا القسم من التوصية.

ويُستدل على معدل الوصول الكلي في جميع فئات الخدمة بواسطة:

$$\lambda_{\le N_{ps}} = \sum_{n=1}^{N_{ps}} \lambda_n \quad (28)$$

ويمكن حساب سعة النظام C_n اللازمة للحصول على متوسط التأخير المطلوب من فئة خدمة n في الخطوة التالية: يدل مستوى الأولوية الذي يحتاج لأعلى سعة على السعة الكلية المطلوبة للنظام، فطالما أن احتياجات نوعية الخدمة محققة لأكثر

فئات الخدمة طلباً، فإن احتياجات فئات الخدمة الأخرى تتحقق بشكل أكبر. ومن ثم، تعطى السعة الكلية المطلوبة للنظام بواسطة:

$$C_{d,t,rat,p,ps} = \max\left(C_1, C_1, ..., C_{N_{ps}}\right) \tag{29}$$

وتُحدد إحدى المهام التي ينفذها نظام الاصطفاف الانتظاري على أنها رزمة IP واحدة. فباستعمال أولويات غير مستبِقة، يُفترض أن كل رزمة IP يتم تناولها بالكامل قبل تغيير توزيع المورد الراديوي الراهن. وهذا افتراض صحيح، لأن مقاطعة تناوَل أي رزمة IP يتسبب تتسبب في العديد من الحالات بفقدان السعة التي تم استهلاكها من أجل تلك الرزمة.

ويعطى متوسط تأخير رزمة بروتوكول الإنترنت D_n، أي مجموع متوسط وقت الانتظار ومتوسط مدة الخدمة، لفئة خدمة n في نظام سعته C بواسطة:

$$D_n(C) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i^{(2)}}{2\left(C - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i\right)\left(C - \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i\right)} + \frac{s_n}{C} \tag{30}$$

وقد اشتُقت هذه المعادلة من صيغة كوبام (Cobham) لمتوسط وقت الانتظار في صف انتظار وصول واحد M/G/1 بأولوية غير استباقية [Cobham، 1954؛ Irnich وWalke، 2004].

وتُستعمل هذه العبارة لتحديد سعة النظام C_n اللازمة للوفاء بشرط نوعية الخدمة $D_n(C_n) = D_n$. وعلى ذلك تُشتق C_n بحل المعادلة التكعيبية:

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0 \tag{31}$$

وتُشتق المعامِلات a_n وb_n وc_n وd_n وفقاً لما يلي:

$$\begin{aligned}
a_n &= 2D_n \\
b_n &- 2\left(D_n\left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i\right) + s_n\right) \\
c_n &= 2\left(D_n\left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i\right) + s_n\left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i\right)\right) - \sum_{i=1}^{N_{ps}} \lambda_i s_i^{(2)} \\
d_n &= -2s_n \left(\sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i s_i\right)
\end{aligned} \tag{32}$$

ولحل المعادلات التكعيبية، يتيسر حل رمزي جيد باستعمال معادلة Cardano مثلاً. فهناك ثلاثة حلول للمعادلة (31) رياضياً. وللوقوف على الحل الصحيح بين هذه الحلول الثلاثة، يتعين مراعاة حد الاستقرار لنظام الاصطفاف الانتظاري، أي:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i s_i < C_n \tag{33}$$

ولإيصال الرزم بتأخير محدد للرزمة، يجب ألا تقل سعة النظام عن معدل الوصول الكلي.

3.6 تحديد الاحتياجات من الطيف

تبين الخطوات الآتية الإجراء المتبع لحساب الاحتياجات من الطيف:

الخطوة 1: جرى حساب السعة حتى الآن على نحو منفصل للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة. أما الآن فتُدمج الاحتياجات من السعة للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة، ولكن على نحو منفصل بالنسبة للاحتياجات من السعة للحركة بتبديل الرزم وبتبديل الدارات.

$$C_{d,t,rat,p,cs} = C_{d,t,rat,p,cs,UL} + C_{d,t,rat,p,cs,DL} \quad (34)$$

$$C_{d,t,rat,p,pcs} = C_{d,t,rat,p,ps,UL} + C_{d,t,rat,p,ps,DL} \quad (35)$$

الخطوة 2: تُدمج الاحتياجات من السعة للحركة بتبديل الرزم وتبديل الدارات، أي:

$$C_{d,t,rat,p} = C_{d,t,rat,p,cs} + C_{d,t,rat,p,ps} \quad (36)$$

حيث تمثل $C_{d,t,rat,p,cs}$ (بتة/(ثانية*خلية)) الاحتياجات من السعة للحركة بتبديل الدارات في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t ومجموعة RATG rat وبيئة راديوية p، فيما تمثل $C_{d,t,rat,p,ps}$ (بتة/(ثانية*خلية)) الاحتياجات من السعة المقابلة للحركة بتبديل الرزم.

وفي حالة الاحتياجات من السعة بالنسبة للبث المتعدد المتنقل، فإنها تُحسب على نحو مماثل كمجموع الاحتياجات من السعة للبث المتعدد بتبديل الرزم وبتبديل الدارات.

الخطوة 3: تُحسب الاحتياجات من الطيف لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t وبيئة راديوية p بتطبيق عوامل الكفاءة الطيفية المساحية من الجدول 11. وتُشتق الاحتياجات من الطيف من:

$$F_{d,t,rat,p} = \frac{C_{d,t,rat,p}}{\eta_{d,rat,p}} \quad (37)$$

حيث $\eta_{d,rat,p}$ (بتة/(ثانية*خلية)) هي الكفاءة الطيفية المساحية في كثافة هاتفية d ومجموعة RATG rat وبيئة راديوية p من الجدول 11.

وفيما يخص الاحتياجات من السعة للبث المتعدد المتنقل، فإن الاحتياجات المقابلة من الطيف $F_{d,rat,p,mm}$ تُحسب على نحو منفصل باستعمال قيمة الكفاءة الطيفية $\eta_{d,rat,p}$ المناسبة من الجدول 11. ثم تُضاف هذه الاحتياجات إلى الاحتياجات من الطيف الخاصة باتصالات إفرادية للمستعمل:

$$F_{d,t,rat,p} = F_{d,t,rat,p} + F_{d,t,rat,p,mm} \quad (38)$$

7 تطبيق التعديلات الضرورية

في الخطوة 7 من الشكل 2، تُجمع الاحتياجات من الطيف على امتداد البيئات الراديوية. وتجرى التعديلات مع الأخذ في الحسبان الحد الأدنى من الاحتياجات من الطيف اللازمة لنشر الشبكة، والنطاقات الحارسة الضرورية وتأثير عدد المشغلين.

ويمضي إجراء تطبيق التعديلات الضرورية وفق الخطوات التالية:

الخطوة 1: يُفترض عدم وجود تقاسم زمني للطيف الترددي، أو ما يدعى الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU)، ضمن مجموعة RATG واحدة بين المشغلين، لأن حمولة الحركة داخل تقنية RAT واحدة لا يُتوقع أن تتغير كثيراً بين المشغلين، إلا إذا كان المشغلون بصدد تناول قطاعات مختلفة تماماً من السوق. وبالتالي، نفترض ثبات توزيع الطيف الترددي بين المشغلين داخل مجموعة RATG واحدة. ونفترض كذلك أن في متناول كل مشغل الحصة نفسها من إجمالي الطيف الترددي. وعندئذ، يكون الطيف الترددي غير المعدل لكل مشغل هو:

$$F_{d,t,rat,p} := F_{d,t,rat,p}/N_o \quad (39)$$

حيث N_o هو عدد المشغلين من الجدولين 10أ و10ب.

الخطوة 2: لا يمكن استعمال الطيف عموماً إلا بتقسيم الحد الأدنى من المواصفات (MinSpec) لعرض النطاق الأدنى اللازم بما يسمح بتوزيع موجة حاملة واحدة لكل خلية في شبكة منطقة واسعة، مع مراعاة عامل إعادة استعمال التردد. ويتعين تعديل الاحتياجات من الطيف وفقاً لذلك:

$$F_{d,t,rat,p} = \text{MinSpec}_{rat,p} \cdot \lceil F_{d,t,rat,p} / \text{MinSpec}_{rat,p} \rceil \quad (40)$$

حيث إن دلالة $\lceil \rceil$ هي التقريب إلى أقرب أكبر عدد صحيح، وتستخلص $\text{MinSpec}_{rat,p}$ من الجدولين 10أ و10ب. علماً كذلك بأن مجموعات RATG المستقبلية سيوضع لها حد أدنى بشأن عرض نطاق الموجة الحاملة والذي يحدَد بشرط دعم الذروة المستهدفة لمعدل بيانات المستعمل.

الملاحظة 1 – ينبغي توخي الحيطة في اختيار معلمات الدخل المستعملة في هذه المنهجية، ومراعاة الحساسية المحتملة لتقدير الطيف الترددي المحسوب إزاء بعض المعلمات. ويتعين، على وجه الخصوص، النظر بحرص في تأثير نشر الطيف الترددي الأدنى لكل مشغل من المجموعة RATG 2، لأن من شأن قيمة كبيرة لهذه المعلمة أن تفضي إلى تقدير إجمالي للاحتياجات من الطيف يفوق ما يلزم على أساس حجم حركة السوق لو اختيرت عروض نطاق أضيق للقناة. كما ينبغي أن يكون اختيار حجم الخلية متسقاً مع معدل البيانات وعرض نطاق القناة والمعلمات الأخرى التي تؤثر في ميزانية الوصلة. وعلاوة على ذلك، يجب أن يكون نشر الطيف الترددي الأدنى لكل مشغل مناسباً لمتوسط معدلات بتات الخدمة المستعملة في الحساب.

$$F_{d,t,rat} := F_{d,t,rat} \cdot N_o \quad (42)$$

الخطوة 3: يفترض أن البيئتين الراديويتين للخلية متناهية الصغر والمناطق الساخنة غير متعايشتين مكانياً. لذلك، يتعين أخذ الحد الأقصى للبيئتين الراديويتين في الحسبان. ويُفترض أن البيئتين الراديويتين للخلية الموسعة والصغرية تتعايشان مكانياً مع البيئة الراديوية للخلية متناهية الصغر والمناطق الساخنة، على التوالي. لذا، يجب جمع الاحتياجات من الطيف للبيئة الموسعة والصغرية مع الحد الأقصى للبيئة الراديوية متناهية الصغر والمناطق الساخنة :

$$F_{d,t,rat} = F_{d,rat,macro} + F_{d,t,rat,micro} + \max(F_{d,t,rat,pico}, F_{d,t,rat,hotspot}) \quad (41)$$

وعندئذ، يكون الطيف الترددي الكلي اللازم لجميع المشغلين هو:

$$F_{d,t,rat} := F_{d,t,rat} \cdot N_o \quad (42)$$

الخطوة 4: في الخطوة التالية، تُراعى النطاقات الحارسة. ويُفترض أن أرقام الكفاءة الطيفية تأخذ فعلاً في الحسبان نطاقاً حارساً يتعين وجوده بين الموجات الحاملة للمشغل نفسه. وهذا يعني أن أرقام الكفاءة الطيفية تقوم كذلك على افتراض عدم وجود تأثير للموجة الحاملة المجاورة، أو أن التأثير مدرج بالفعل في رقم الكفاءة الطيفية. ويفرض النطاق الحارس بين المشغلين احتياجات إضافية من الطيف:

$$F_{d,t,ra} := F_{d,t,rat} + (N_o - 1) \cdot G_{rat} \quad (43)$$

حيث إن قيم النطاق الحارس بين المشغلين G_{rat} هي قيم للدخل مأخوذة من الجدولين 10أ و10ب.

8 حساب الاحتياجات الكلية من الطيف

وفي آخر عملية حسابية، تُجمع الاحتياجات من الطيف على امتداد الفواصل الزمنية والكثافات الهاتفية.

الخطوة 1: يُراعى ارتباط الاحتياجات من الطيف بالوقت. ويتناول الخياران أدناه، أي أ) وب) حساب الاحتياجات من الطيف مع أو بدون إمكانية الاستعمال المرن للطيف (FSU). حيث إن الحساب دون إمكانية FSU أ) بين أي من مجموعات RATG يتيح حساب الاحتياجات من الطيف المحددة لمجموعة RATG، في حين أن الحساب مع إمكانية FSU ب) يعطي الطيف الترددي المطلوب لجميع مجموعات RATG الممكَّنة من استخدام FSU.

أ) نذكّر بأن الاحتياجات من الطيف لا تزال مرتبطة بالوقت في هذه المرحلة. وبدون FSU، تكون الاحتياجات من الطيف لمجموعة RATG *rat* في كثافة طيفية *d* هي الحد الأقصى على مر الوقت:

$$F_{d,rat} = \max_t (F_{d,t,rat}) \tag{44}$$

وتؤخذ أكبر قيمة من جميع الفواصل الزمنية *t*.

ب) وبوجود إمكانية الاستعمال المرن للطيف (FSU) بين مجموعات RATG، يُحسب الطلب الكلي على الطيف الترددي لمجموعات RATG التي تدعم FSU بجمع الطلبات من الطيف لكل تقنية من تقنيات RAT وعلى نحو منفصل لكل كثافة هاتفية. ويُدرج أيضاً عامل قصور FSU من الجدولين 10أ و10ب لمراعاة أي قصور في مخطط الاستعمال المرن للطيف (FSU) من شأنه أن يزيد الطلب على الطيف الترددي:

$$F_{d,t,FSU} = FSU_{marg} \cdot \sum_{rat \in \{FSU\ RATs\}} F_{d,t,rat} \tag{45}$$

وعلى ذلك يُستعمل المشغل الأقصى لاختيار أكبر كَمٍّ من الاحتياجات من الطيف في جميع الأوقات. وتكون الاحتياجات من الطيف لمجموعات RATG العاملة في إطار الاستعمال المرن للطيف (FSU) هي:

$$F_{d,FSU} = \max_t (F_{d,t,FSU}) \tag{46}$$

وتستخلص الاحتياجات من الطيف لتقنيات النفاذ الراديوي (RATs) غير العاملة في إطار الاستعمال المرن للطيف (FSU) من:

$$F_{d,rat,nonFSU} = \max_t (F_{d,t,rat}); \quad rat \notin \{FSU \quad RATs\} \tag{47}$$

الخطوة 2: تعد بيئات الكثافة الهاتفية مناطق غير متراكبة مكانياً، ومن ثم تحدد بيئة الكثافة الهاتفية ذات الطلب الأعلى على الطيف الاحتياجات من الطيف لأي مجموعة RATG.

أ) الاحتياجات من الطيف لمجموعة RATG *rat*، بدون FSU هي:

$$F_{rat} \max_d = (F_{d,rat}) \tag{48}$$

ب) الاحتياجات من الطيف، مع FSU هي:

$$F_{rat,nonFSU} = \max_d (F_{d,rat,nonFSU}), \quad \text{and } F_{FSU} = \max_d (F_{d,FSU}) \tag{49}$$

الخطوة 3: نذكّر بأن الحساب الذي أجري داخل منطقة توزيع للطيف الترددي يمكن أن يكون مأخوذاً من دراسات سوق مختلفة في مناطق جغرافية مختلفة. وعندما يحتاج الأمر إلى تقدير مشترك لمجموعة من البلدان، ينبغي الأخذ بالحد الأقصى من بين الاحتياجات من الطيف للدراسات السوقية الإفرادية.

أ) الطيف الترددي المطلوب لمجموعة RATG rat، بدون FSU، هو الحد الأقصى عبر جميع دراسات المناطق/الأسواق على اختلافها:

$$F_{rat} = \max(F_{rat}) \tag{50}$$

ب) الطيف الترددي المطلوب لمجموعة RATG *rat*، مع FSU، هو الحد الأقصى عبر جميع دراسات المناطق/الأسواق على اختلافها:

$$F_{FSU} = \max(F_{FSU}) \text{ و } F_{rat,nonFSU} = \max(F_{rat,nonFSU}) \quad (51)$$

الخطوة 4: كخطوة أخيرة اختيارية، الطيف الترددي الكلي اللازم هو الخطوة 8 في الشكل 2.

أ) بدون إمكانية FSU، تُجمع كل طلبات المجموعة RATG:

$$F = \sum_{rat} F_{rat} \quad (52)$$

ب) ومع إمكانية FSU، يُجمع الطيف الترددي لمجموعات RATG المزودة بإمكانية الاستعمال المرن للطيف الترددي (FSU) وغير المزودة بهذه الإمكانية:

$$F = F_{FSU} + \sum_{rat \notin \{FSU\ RATs\}} F_{rat,nonFSU} \quad (53)$$

9 الخلاصة

تعرض هذه التوصية منهجية لحساب الاحتياجات من الطيف للتطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها. وتتسع المنهجية لمزيج معقد من الخدمات مستوحى من دراسات سوق فيها فئات خدمة تتسم بأحجام مختلفة من الحركة وقيود مختلفة بشأن نوعية الخدمة. وتأخذ المنهجية في الحسبان طبيعة الحركة المتغيّرة زمنياً وإقليمياً، وتطبق نهجاً محايداً من حيث التكنولوجيا للتعامل مع الأنظمة البازغة فضلاً عن القائمة بالفعل باستعمال نهج مجموعة تقنية النفاذ الراديوي (RATG) مع مجموعة محدودة من المعلمات الراديوية. وتغطي مجموعات RATG الأربع التي دُرست جميع تكنولوجيات النفاذ الراديوي ذات الصلة. وتوزع المنهجية الحركةَ على مختلف مجموعات RATG والبيئات الراديوية باستعمال معلومات تقنية وأخرى تتصل بالسوق. ولا تُحسب الاحتياجات من الطيف للمجموعتين RATG3 وRATG4. أما في الحركة الموزعة على المجموعتين RATG1 و RATG2، فإن المنهجية تحول أحجام الحركة من دراسات سوقية إلى احتياجات من السعة باستعمال خوارزميات منفصلة لفئتي الخدمة بتبديل الرزم وبتبديل الدارات وتأخذ في الحسبان الكسب الحاصل من تعدد إرسال خدمات الرزم التي تتسم بخصائص مختلفة من حيث نوعية الخدمة. وتحول المنهجية الاحتياجات من السعة إلى احتياجات من الطيف باستعمال قيم الكفاءة الطيفية. وتراعي المنهجية الوضع العملي لحالات نشر الشبكات لتعديل الاحتياجات من الطيف وحساب الاحتياجات الكلية من الطيف من أجل التطور المستقبلي للاتصالات IMT-2000 والأنظمة التالية لها.

المراجـــع

KLEINROCK, L. [1975] *Queueing Systems*. Volume 1: *Theory*. John Wiley & Sons, New York, United States of America.

KAUFMAN, J.S. [October 1981] Blocking in a shared resource environment. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-29, **10**, p. 1474-1481.

ROBERTS, J.W. [1981] A service system with heterogeneous user requirements. *Perf. of Data Commun. Sys. and their Applications*, G. Pujolle (Ed.), p. 423-431, North-Holland.

TAKAGI, H., YOSHINO, H., MATOBA, N. and AZUMA, M. [2005] Methodology for calculation of spectrum requirements for the next generation mobile communication systems. Submitted to the *IEICE Trans*. (in Japanese).

KLEINROCK, L. [1976] *Queueing Systems.* Volume 2*: Computer Applications*. John Wiley and Sons, New York, United States of America.

COBHAM, A. [1954] Priority assignments in waiting line problems. *Operations Research*, Vol. 2, **1** (February) p. 70-76.

IRNICH, T. and WALKE, B. [5-8 September 2004] *Spectrum estimation methodology for next generation wireless systems.* PIMRC Barcelona, Spain.

التذييل 1
للملحق 1

قائمة المختصرات والرموز

المختصرات	الوصف
2G	الجيل الثاني *(Second generation)*
AoD	الخدمة الصوتية حسب الطلب *(Audio on demand)*
BER	نسبة خطأ البتات *(Bit error ratio)*
CBW	عرض نطاق الموجة الحاملة *(Carrier bandwidth)*
CS	تبديل الدارات *(Circuit switching)*
FCFS	الخدمة أولاً لمن يأتي أولاً *(First come first served)*
FSU	الاستعمال المرن للطيف الترددي *(Flexible spectrum usage)*
FTTH	توصيل الألياف البصرية إلى المنـــزل *(Fibre-to-the-home)*
IMT-2000	الاتصالات المتنقلة الدولية–2000 *(International Mobile Telecommunications-2000)*
IP	بروتوكول الإنترنت *(Internet protocol)*
LAN	شبكة محلية *(Local area network)*
M/G/1	صف انتظار دخل Poisson لمخدّم عام لخدمة واحدة *(Poisson input general service single server queue)*
PAN	شبكة شخصية *(Personal area network)*
PS	تبديل الرزم *(Packet switching)*
QoS	نوعية الخدمة *(Quality of service)*
RAN	شبكة نفاذ راديوي *(Radio access network)*
RAT	تقنية نفاذ راديوي *(Radio access technique)*
RATG	مجموعة تقنية النفاذ الراديوي *(Radio access technique group)*
RE	بيئة راديوية *(Radio environment)*
SC	فئة خدمة *(Service category)*
SE	بيئة الخدمة *(Service environment)*
VoD	فيديو حسب الطلب *(Video on demand)*
VoIP	نقل الصوت باستخدام بروتوكول الإنترنت *(Voice over Internet Protocol)*
xDSL	الخط الرقمي للمشترك *(x-digital subscriber line)*

الرمز:	الوصف:	الوحدة
a_n	معامل	–
$A_{d,p}$	مساحة خلية في بيئة راديوية p في كثافة هاتفية d	km^2
b_n	معامل	–
B_n	احتمال الحجب لفئة خدمة بتبديل الدارات n	–
c_n	معامل	–
$C_{d,t,rat,p}$	الاحتياجات من السعة في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,cs}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الدارات في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,cs,DL}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الدارات في وصلة هابطة في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,cs,UL}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الدارات في وصلة صاعدة في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,ps}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الرزم في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,ps,DL}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الرزم في وصلة هابطة في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$C_{d,t,rat,p,ps,UL}$	الاحتياجات من السعة لتبديل الرزم في وصلة صاعدة في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
d	دليل الكثافة الهاتفية	–
d_n	معامل	–
D_n	متوسط التأخير اللازم لفئة الخدمة n	رزمة/ثانية
$F_{d,rat}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d	Hz
$F_{d,FSU}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat مع إمكانية الاستعمال المرن للطيف (FSU) في كثافة هاتفية d	Hz
$F_{d,rat,nonFSU}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat بدون الإمكانية FSU في كثافة هاتفية d	Hz
$F_{d,t,FSU}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat مع الإمكانية FSU في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t	Hz
$F_{d,t,rat}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t	Hz
$F_{d,t,rat,p}$	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t وبيئة راديوية p	Hz
$F_{d,t,rat,p,mm}$	الاحتياجات الكلية من الطيف للبث المتعدد المتنقل لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t وبيئة راديوية p	Hz
F	الاحتياجات الكلية من الطيف لجميع مجموعات RATG rat	Hz
F_{FSU}	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعات RATG rat مع الإمكانية FSU	Hz

F_{rat}	الاحتياجات الكلية من الطيف لمجموعة RATG *rat* دون الإمكانية FSU	Hz
$F_{rat,nonFSU}$	الاحتياجات من الطيف لمجموعة RATG *rat* دون الإمكانية FSU	Hz
FSU_{marg}	هامش قصور لمخطط الاستعمال المرن للطيف (مضروب)	–
G	دالة وسيطة لحساب احتمال الحجب	
G_{rat}	نطاق حارس بين مشغلين لمجموعة RATG *rat*	Hz
i_m	عدد النداءات من صنف m التي تستعمل حالياً قنوات في حساب السعة بتبديل الدارات	–
$\boldsymbol{i}$	متجه حالة النظام في حساب السعة بتبديل الدارات	–
J_m	معلمة لإقامة تقابل لأصناف التنقلية	–
k	دليل قناة في حساب السعة بتبديل الدارات	–
m	دليل لبيئة الخدمة	–
$MR_sm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية الثابتة/الخاصة بالمشاة في المنهجية لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_lm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية المنخفضة في المنهجية لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_hm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية العالية في المنهجية لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_market_{m,s}$	نسبة التنقلية في دراسة السوق للخدمة s في بيئة الخدمة m	%
$MR_market_{m,t,n}$	نسبة التنقلية في دراسة السوق لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_market_sm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية الثابتة في دراسة السوق لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_market_lm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية المنخفضة في دراسة السوق لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_market_hm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية العالية في دراسة السوق لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MR_market_shm_{m,t,n}$	نسبة التنقلية العالية جداً في دراسة السوق لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	%
$MinSpec_{rat,p}$	الحد الأدنى لكل مشغل لمجموعة RATG *rat* في بيئة الخدمة m	Hz
n	دليل فئة الخدمة	–
N	العدد الكلي لفئات الخدمة	–
N_{cs}	عدد فئات الخدمة بتبديل الدارات	–
N_o	عدد المشغلين	–
N_{ps}	عدد فئات الخدمة بتبديل الرزم	–
p	دليل البيئة الراديوية	–
P	دالة وسيطة لحساب احتمال الحجب	
$P_{m,t,n,rat,p}$	معدل وصول الدورة لكل منطقة لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t للمجموعة RATG *rat* في بيئة راديوية p	مرات وصول الدورة/ثانية/كم^2

$P'_{m,t,n,rat,p}$	معدل وصول الدورة الخلوي لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t للمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	مرات وصول الدورة/ثانية/خلية
$Q_{m,t,s}$	معدل وصول الدورة لكل مستعمل للخدمة s في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	مرات وصول الدورة/ثانية/مستعمل
$Q_{m,t,n}$	معدل وصول الدورة لكل مستعمل لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	مرات وصول الدورة/ثانية/مستعمل
r	وحدة معدل البيانات في حساب السعة للحركة بتبديل الدارات	bit/s
$r_{d,t,n,rat,p}$	متوسط معدل بتات الخدمة لفئة الخدمة n في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s
$r_{m,t,n}$	متوسط معدل بتات الخدمة لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	bit/s
$r_{m,t,s}$	متوسط معدل بتات الخدمة لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m	bit/s
rat	دليل جماعة تقنية النفاذ الراديوي	–
s	دليل الخدمة	–
s_n	متوسط توزيع حجم الرزمة لفئة الخدمة n	بتة/رزمة
$s_n^{(2)}$	العزم الثاني لتوزيع حجم الرزمة لفئة الخدمة n	(بتة/رزمة)^2
t	دليل الفاصل الزمني	–
$T_{d,t,n,rat,p}$	حجم الحركة الكلي لفئة الخدمة n في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	bit/s/cell
$U_{m,t,s}$	كثافة المستعملين للخدمة s في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	مستعملون/km^2
$U_{m,t,n}$	كثافة المستعملين لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	مستعملون/km^2
$w_{m,t,s}$	الترجيح لمتوسط مدة الدورة للخدمة s في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	–
$\overline{w}_{m,t,s}$	الترجيح لمتوسط لمعدل البتات أو نسبة التنقلية للخدمة s في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	–
X_{hs}	النسبة المئوية لتغطية خلية المناطق الساخنة	%
X_{macro}	النسبة المئوية لتغطية خلية موسعة	%
X_{micro}	النسبة المئوية لتغطية خلية صغرية	%
X_{pico}	النسبة المئوية لتغطية خلية متناهية الصغر	%
$\eta_{d,rat,p}$	الكفاءة الطيفية لمجموعة RATG rat في كثافة هاتفية d وبيئة راديوية p	bit/s/Hz/cell
κ	عدد القنوات المطلوبة لكل خلية	
$\lambda_{d,t,n,rat,p}$	معدل وصول الرزم لفئة الخدمة n في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	رزمة/ثانية
λ_n	معدل وصول الرزم لفئة الخدمة n	رزمة/ثانية
$\lambda_{\leq N_{ps}}$	المعدل الإجمالي لوصول الرزم لجميع فئات الخدمة	رزمة/ثانية
$\mu_{m,t,s}$	متوسط مدة الخدمة للخدمة s في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	ثانية/دورة
$\mu_{m,t,n}$	متوسط مدة الخدمة لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t	ثانية/دورة
ν_n	عدد القنوات المطلوبة لفئة الخدمة n بتبديل الدارات	–
ν	متجه بعدد القنوات المطلوبة لفئات الخدمة بتبديل الدارات	–

ξ_{hs}	نسبة التوزيع الوسيطة لخلية المناطق الساخنة	–
ξ_{macro}	نسبة التوزيع الوسيطة لخلية موسعة	–
ξ_{micro}	نسبة التوزيع الوسيطة لخلية صغرية	–
ξ_{pico}	نسبة التوزيع الوسيطة لخلية متناهية الصغر	–
$\xi_{pico\&hs}$	نسبة التوزيع الوسيطة للخلايا متناهية الصغر وخلايا المناطق الساخنة	–
$\xi_{m,t,n,rat,p}$	نسبة التوزيع لفئة الخدمة n في بيئة الخدمة m وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	–
π_n	أقصى احتمال حجب مسموح لفئة الخدمة n بتبديل الدارات	–
$\rho_{d,t,n,rat,p}$	الحركة المقدمة لكل خلية لفئة الخدمة n في كثافة هاتفية d وفاصل زمني t لمجموعة RATG rat في بيئة راديوية p	إرلانغ/خلية