الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التقرير ITU-R SM.2356-1

(2017/06)

إجراءات من أجل التخطيط والاستخدام الأمثل لشبكات مراقبة الطيف في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF)

السلسلة SM

إدارة الطيف

الاتحاد الدولي للاتصالات ITU

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 لمدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها.

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

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

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

سلاسل تقارير قطاع الاتصالات الراديوية

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

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

ملاحظة: *وافقت لجنة الدراسات على النسخة الإنكليزية لهذا التقرير الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.*

النشر الإلكتروني
جنيف، 2018

© ITU 2018

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).

التقرير ITU-R SM.2356-1*

إجراءات من أجل التخطيط والاستخدام الأمثل لشبكات مراقبة الطيف في مدى الترددات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF)

(2017-2015)

ملخص

يتناول هذا التقرير بالبحث ثلاث طرائق مختلفة. تجمع الطريقة الأولى قياسات زوايا الوصول (AOA) من مواقع متعددة باستخدام صفائف هوائيات تحديد الاتجاه لتحديد موقع المرسِل. وتجمع الطريقة الثانية قياسات تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) من ثلاثة مواقع كحد أدنى (زوجان من قياسات تفاوت أزمنة الوصول TDOA بين المواقع الثلاثة مطلوبان لتحديد الموقع الجغرافي). وتجمع الطريقة الثالثة ما بين قياسات زوايا الوصول AOA وقياسات تفاوت أزمنة الوصول TDOA لتجهيز عملية تحديد الموقع الجغرافي (يحتاج الأمر إلى ما لا يقل عن موقعين: موقع يتمتع بمقدرة قياس AOA وTDOA، وآخر يتمتع بمقدرة قياس TDOA فقط). ويتضمن هذا التقرير ثلاثة ملحقات على النحو التالي:

الملحق 1: مثال عملي لتخطيط محلي لشبكة مراقبة الطيف (SMN) بقياس زوايا الوصول (AOA) في أرض منبسطة نسبياً.

الملحق 2: تخطيط شبكة مراقبة الطيف (SMN) بقياس زوايا الوصول (AOA) في منطقة جبال وتلال.

الملحق 3: أداء المستقبِل وأثره على تغطية الشبكة.

* ينبغي إحاطة لجنة الدراسات 1 لقطاع تنمية الاتصالات بهذا التقرير.

جدول المحتويات

الصفحة

1 مقدمة 4

2 القرارات الأساسية التي تتخذها إدارة ما في سياق التحضير لعملية التخطيط 5

3 التخطيط والاستخدام الأمثل لشبكات مراقبة الطيف بقياس زوايا الوصول 7

1.3 المبادئ الأساسية للمنهجية العامة القائمة 7

2.3 نمذجة شبكة مراقبة الطيف بمساعدة الحاسوب 9

3.3 تفصيل مواقع المحطات في سياق مسح المواقع واقتناء الأراضي 23

4.3 التخطيط لشبكات مراقبة الطيف الصغيرة والمحلية الخاصة 24

4 التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بقياس تفاوت أزمنة الوصول واستمثالها 25

1.4 المبادئ الأساسية 25

2.4 تخطيط شبكات مراقبة الطيف لقياس تفاوت أزمنة الوصول في مركز حضري 28

3.4 تخطيط شبكات مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) للمناطق الريفية الكبيرة 30

5 تخطيط شبكات المراقبة الهجينة 30

1.5 مقارنات طرائق تحديد الموقع الجغرافي 31

2.5 محاكاة تغطية تحديد الموقع الجغرافي ودقتها 31

3.5 ملخص أداء النظام الهجين 32

6 الطريقة المعممة للتخطيط لشبكات مراقبة الطيف المحلية الصغيرة والخاصة 33

1.6 نمذجة شبكات مراقبة الطيف المحلية الصغيرة والخاصة بمساعدة الحاسوب 34

7 الخلاصة 41

الملحق 1 – مثال عملي لتخطيط شبكة محلية لمراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول في أرض منبسطة نسبياً 42

1-A1 مقدمة 42

2-A1 البيانات الأولية لتخطيط طوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف 42

3-A1 استمثال أبسط طوبولوجيا لشبكة مراقبة الطيف 43

4-A1 الطوبولوجيا المنتظمة لشبكة واسعة لمراقبة الطيف 44

5-A1 بنية غير منتظمة لطوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف 45

الملحق 2 – التخطيط لشبكة مراقبة الطيف بقياس زوايا الوصول في المناطق الجبلية والتلال 48

1-A2 تمهيد 48

2-A2 مناطق تغطية تحديد الاتجاه والمواقع لهوائيات المحطات المقامة على مستويات مرتفعة 48

3-A2 تقليل احتمال حدوث آثار الانعكاس 50
4-A2 ملاحظات ختامية 52
الملحق 3 – أداء المستقبِلات وأثره على تغطية الشبكة 53
1-A3 أثر أداء المستقبِلات على مسافات الفصل بين محطات شبكة تحديد الموقع الجغرافي 53
2-A3 المدى الدينامي الآني 53
3-A3 ضوضاء الطور 53
4-A3 الآثار المترتبة على منطقة التغطية..... 54
5-A3 الخاتمة..... 54
المراجع 55

1 مقدمة

الهدف من تخطيط شبكة مراقبة الطيف (SMN) واستخدامها الأمثل هو تمكين وظائف المراقبة المطلوبة عبر المناطق التي تحتوي على أعلى كثافة من المرسِلات والحد الأدنى من عدد محطات المراقبة. ويتعين تحقيق ذلك باستخدام أدنى ارتفاع ممكن لأبراج الهوائيات مع الحفاظ على قياسات عالية الجودة للترددات الراديوية. وقد تكون المنطقة موضع الاهتمام مراكز عالية الكثافة بالسكان أو التنمية الصناعية.

وقد تطورت المنهجية المحوسبة لهذا التخطيط والاستخدام الأمثل في نطاقات التردد المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) (على أساس مبادئ زوايا الوصول (AOA)) على مدى السنوات الأخيرة، وهي واردة في القسم 8.6 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011). وهي تمثل خطوة كبيرة إلى الأمام مقارنة بالإجراءات السابقة التي تستند حصراً إلى تقييمات الخبراء لدى مصممي الشبكات. وتشير التوصية ITU-R SM.1392-2 إلى القسم 8.6 من الكتيّب، وتؤكد على الفوائد التقنية والاقتصادية التي ينطوي عليها التخطيط الفعّال والاستخدام الأمثل لشبكات مراقبة الطيف في البلدان النامية. ولا يمكن تحقيق هذه الفوائد إلاّ باستخدام الطرائق الحاسوبية وتطبيقها كلياً في البلدان المتقدمة أيضاً.

وقد أثبتت التجربة العملية أن من الممكن، بفضل النماذج الحاسوبية الملائمة وعمليات الحساب المناسبة، الحد من عدد محطات المراقبة الثابتة المطلوبة لتغطية منطقة معينة بالمقارنة مع شبكات مراقبة الطيف المخطط لها على أساس تقديرات الخبراء. ويتحقق ذلك باختيار أفضل المواقع للمحطات والارتفاعات المثلى للهوائيات، مع مراعاة التضاريس المحيطة بهذه المواقع.

ومن ناحية أخرى، يتضح من التجربة العملية لتنفيذ تلك المنهجية باستخدام البرمجيات المناسبة[1]، كما هي مطبقة على شبكات مراقبة الطيف من مختلف الأنواع والمنشورة في ظروف جغرافية مختلفة وفي مستويات مختلفة من المقدرة المالية لدى الإدارات، أن عملية التخطيط والاستخدام الأمثل عملية معقدة إلى حد ما. وهي تتألف من مراحل عديدة مختلفة، وتتحدد بحكم المتطلبات الأولية لشبكة مراقبة الطيف المخطط لها، والتي يتعين أن تكون محددة مسبقاً. وبالإضافة إلى ذلك، سيكون من الضروري أثناء مرحلة التخطيط نفسها اتخاذ عدد من القرارات الإدارية لتحسين العملية إلى الحد الأمثل. ولم تتناول الإرشادات الراهنة كل هذه الجوانب على نحو وافٍ.

ولهذا، قد يكون من المفيد استكمال المنهجية المقبولة الحالية بمبادئ توجيهية أكثر تفصيلاً إلى جانب تنفيذ تدريجي، خطوة خطوة، لجعل العملية برمتها أكثر فعالية، مع اختصار العمل المطلوب إلى الحد الأدنى. وهذه المسألة هي موضوع التقرير الحالي.

والجمع بين اثنتين أو أكثر من تقنيات تحديد الموقع الجغرافي عند تصميم شبكة مراقبة الطيف هو أحد الخيارات. وهناك عدد من الطرائق المختلفة المتوفرة للقيام بعملية تحديد الموقع الجغرافي. ويتناول هذا التقرير بالبحث ثلاث طرائق مختلفة. تجمع الطريقة الأولى قياسات زوايا الوصول (AOA) من مواقع متعددة باستخدام صفائف هوائيات تحديد الاتجاه لتحديد موقع المرسِل. وتجمع الطريقة الثانية قياسات تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) من ثلاثة مواقع كحد أدنى (زوجان من قياسات تفاوت أزمنة الوصول TDOA بين المواقع الثلاثة مطلوبان لتحديد الموقع الجغرافي).

وتجمع الطريقة الثالثة ما بين قياسات زوايا الوصول AOA وقياسات تفاوت أزمنة الوصول TDOA لتجهيز عملية تحديد الموقع الجغرافي (يحتاج الأمر إلى ما لا يقل عن موقعين: موقع يتمتع بمقدرة قياس AOA وTDOA، وآخر يتمتع بمقدرة قياس TDOA فقط). ومن باب التبسيط يُشار إلى هذه الطرائق الثلاث كما يلي:

- طريقة قياسات زوايا الوصول (AOA)؛
- طريقة قياسات تفاوت أزمنة الوصول (TDOA)؛
- الطريقة الهجينة لقياسات زوايا الوصول وتفاوت أزمنة الوصول (AOA/TDOA).

[1] برمجيات على غرار ما جاء وصفه في الملحق 5 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن تقنيات إدارة الطيف المدعومة بالحاسوب (CAT) (طبعة 2015).

وأخيراً، ينبغي مراعاة عوامل أداء المستقبِل مثل حساسية رقم الضوضاء وضوضاء الطور، وغيرها. إذ قد تسمح المستقبِلات ذات الأداء العالي بمزيد من الفصل، ومن ثم باستخدام عدد أدنى من محطات المراقبة لتغطية منطقة معينة. ويضم هذا التقرير ثلاثة ملحقات على النحو التالي:

الملحق 1: مثال عملي لتخطيط محلي لشبكة مراقبة الطيف (SMN) بقياس زوايا الوصول (AOA) في أرض منبسطة نسبياً.

الملحق 2: تخطيط شبكة مراقبة الطيف (SMN) بقياس زوايا الوصول (AOA) في منطقة جبال وتلال.

الملحق 3: أداء المستقبِل وأثره على تغطية الشبكة.

2 القرارات الأساسية التي تتخذها إدارة ما في سياق التحضير لعملية التخطيط

تتطلب الخطوة الأولى في تخطيط شبكة مراقبة الطيف قرارات أساسية تتعلق بأهداف النظام وتشكيله وأدائه في ضوء الموارد المالية المتاحة والمرتقبة. وهي تشمل، بصرف النظر عن النقاط المشار إليها في التوصية ITU-R SM.1392-2، ما يلي:

- **مساحة المنطقة التي يتعين مراقبتها**

وهذا يعني المساحة الإجمالية التي يتعين تغطيتها بالمراقبة.

- **التغطية الشاملة مقابل التغطية المحلية للمنطقة بالمحطات الثابتة**

هل ينبغي لتغطية ما أن تكون شاملة أم محلية، وهل ينبغي أن يتحقق ذلك بفرادى شبكات فرعية محلية توفر تغطية شاملة فقط ضمن حدود الجزء الخاص بها من مجموع المنطقة التي يتعين مراقبتها؟

- **تقنية قياس زوايا الوصول (AOA) مقابل تقنية قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) مقابل التقنية الهجينة (AOA/TDOA)**

ثمة حاجة، في ضوء التقرير ITU-R SM.2211-1، إلى دراسة متطلبات تحديد الموقع الجغرافي وذلك لمعرفة ما هي أنسب التقنيات لتطوير شبكة معينة لمراقبة الطيف.

- **البت في ضرورة بناء شبكة جديدة لمراقبة الطيف مقابل الارتقاء بشبكة قائمة**

يجب أن تقرر الإدارة إلى أي حد ينبغي معاودة استخدام محطات ثابتة قائمة في شبكة جديدة لمراقبة الطيف، وما إذا كانت معداتها تحتاج إلى الاستبدال أو الارتقاء بها لتعزيز التغطية.

- **فئات مرسِلات الاختبار ومهام المراقبة الأساسية: التنصت، وقياس خصائص الإرسال، وتحديد الاتجاه (DF)، وتقدير موقع المرسِل**

من المهم، ضمن مساحات التغطية الشاملة (أو شبه الشاملة)، تحديد مناطق التغطية المطلوبة لوظائف المراقبة الأربع المشار إليها فيما يتعلق بفئات مختلف مرسِلات الاختبار (انظر الفقرة 1.3 أدناه)، ومراقبة الترددات. والجمع بين أكثر من نهج ممكن. مثال ذلك، من الممكن تحديد اشتراط لتغطية شاملة لمواقع مرسِلات الاختبار من فئة أعلى (مثل الفئة الثانية)، وتغطية شاملة لتحديد الاتجاه فقط لمرسِلات الاختبار من الفئة الأدنى (مثل الفئة الأولى).

- **الأنصبة النسبية من أعداد المحطات الثابتة والمحطات المتنقلة**

بما أن تحديد الاتجاه من مصدر إرسال ما يتطلب استخدام محطة متنقلة، فلا بد من تحديد نسبة ملائمة من المحطات الثابتة والمحطات المتنقلة. وهذا يتوقف على بعض العوامل، منها المراقبة المستخدمة في التغطية الشاملة (أو شبه الشاملة). وفي حالة التغطية الشاملة للمواقع، تُعرف الإحداثيات المحتملة لمصدر إرسال ما من تقاطع خطوط الاتجاه الزاوي من المحطات الثابتة. وفي هذه الحالة، يحتاج الأمر إلى عدد أقل من المحطات المتنقلة ويتم تحديد المصدر بسرعة. وفي حالة التغطية الشاملة بتحديد الاتجاه فقط، يصبح تحديد المصدر أكثر مشقة ويستغرق وقتاً أطول. ولهذا السبب، يحتاج الأمر إلى نسبة أعلى من المحطات المتنقلة. كما يحتاج الأمر إلى المزيد من المحطات المتنقلة في حالة المساحات الواسعة التي لا تغطيها المحطات الثابتة لتحديد الاتجاه.

ويمكن أن تتغير القرارات المتخذة في بداية عملية التخطيط في ضوء المعرفة المكتسبة أثناء عملية التخطيط وفي ضوء مدى توفر الموارد المالية.

ومن المهم أيضاً، في المرحلة الأولى من التخطيط، جمع أكبر قدر ممكن من المعلومات (الإدارية والاجتماعية الاقتصادية، وغيرها) عن المنطقة موضع الاهتمام، بما في ذلك:

- خرائط مفصلة تبين المراكز السكانية والطرق القائمة وخطوط السكك الحديدية، وما إلى ذلك؛
- توزيع الكثافة السكانية والمناطق الاقتصادية في كل المنطقة؛
- توزيع الكثافة لأنظمة الإرسال في المنطقة؛
- بيانات من السجل الوطني للترددات عن المواقع والخصائص التقنية للمرسِلات عالية القدرة وارتفاع هوائياتها؛
- خرائط مسارات خطوط التوتر العالي لنقل الطاقة الكهربائية ومحطات التحويل المرتبطة بها؛
- بيانات عن مواقع صواري هوائيات الموجات الصغرية وغيرها من الهياكل المعدنية العالية، إذا توفرت.

ومن المهم أيضاً اتخاذ قرارات بخصوص ما يلي:

- **تحديد المتطلبات لمعدات المراقبة الراديوية**

رغبةً في تحديد القيم الحدية لشدة المجال، من الضروري وضع متطلبات الأداء لمعدات محطات المراقبة من قبيل كسب هوائي الاستقبال والتوهين الكبلي وحساسية جهاز الاستقبال، وما إلى ذلك؛

- **اختيار نموذج انتشار الموجات الراديوية**

يتأثر تخطيط شبكة مراقبة الطيف إلى حد كبير بحكم نماذج انتشار التردد الراديوي المستخدمة. ولذلك من المهم اختيار النموذج المناسب لمنطقة خدمة محطة المراقبة. ويمكن الاطلاع على معلومات نماذج الانتشار في القسم 4.6 من كتيّب مراقبة الطيف الصادر عن قطاع الاتصالات الراديوية (طبعة 2011). مثال ذلك، يمكن استخدام نماذج الانتشار المبنية على أساس المنهجية الواردة في التوصية ITU-R P.1546-5 أو التوصية ITU-R P.1812-3. وتبين الممارسة أن الحسابات وفقاً للتوصية ITU-R P.1546-5 غالباً ما تعطي تنبؤاً أكثر دقة لتضاريس شبه مستوية، في حين أن التوصية ITU-R P.1812-3 أكثر ملاءمة للمناطق التي تغلب عليها تضاريس التلال والجبال. ولكن هذه النماذج ليست دائماً دقيقة، ذلك لأن كلّ تنبؤ يتوقف إلى حد كبير على الحالة المعينة قيد النظر.

وينبغي، بالنسبة للمناطق الحضرية، استخدام نماذج الانتشار التي وُضعت خصيصاً لهذه الظروف، مثل نموذج Okumura-Hata، أو COST 231 Walfisch-Ikegami. وقد وُضعت نماذج انتشار جديدة محددة الموقع تستخدم خرائط رقمية ثلاثية الأبعاد للمدن والمباني. ويقوم العديد من هذه النماذج على طرائق البصريات الهندسية (مثل نماذج التتبُّع الشعاعي) وهي أكثر دقة في الغالب من الطرائق التقليدية.

- **تحديد مجالات التجنب لمحطات المراقبة**

من المهم تحديد المناطق التي ينبغي فيها تجنب وضع محطات المراقبة. ويمكن أن تكون هذه المناطق مواقع مغلقة أو آمنة، أو مناطق تكون فيها شدة المجال عالية. وفي الحالة الثانية، تكون حدود شدة المجال (قيمة مجموع الجذر التربيعي) للإشارات ضمن نطاق التمرير في جهاز استقبال المراقبة بمقدار 30 mV/m، (أي 90 dB (μV/m))، وفقاً للفقرة 6.2 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد). ويمكن استخدام التوصية ITU-R SM.575-2 لحساب شدة المجال الحدية اللازمة لحماية محطات المراقبة الثابتة من التداخل من أجهزة الإرسال القريبة أو القوية.

- **عدم التيقن من الموقع (بالنسبة لشبكات مراقبة الطيف بالطريقة الهجينة AOA/TDOA)**

من الضروري، عند التخطيط للمحطات الهجينة (AOA/TDOA)، تحديد الحد الأقصى لقيمة الخطأ المسموح به من موقع الجهاز المرسِل. ومن شأن قيمة الخطأ هذه أن تحدد متطلبات الأداء الأساسية لشبكة المراقبة. ومن الجدير بالذكر

في هذه المرحلة أن طريقة قياس زوايا الوصول (AOA) تحتاج إلى محطتين على الأقل من محطات المراقبة، بينما تحتاج طريقة قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) إلى ثلاث محطات على الأقل.

ومن الضروري أيضاً الحصول على إحصاءات (على مدى عدة سنوات) عن المنطقة المعنية بخصوص طلبات خدمات المراقبة التي لا يمكن توفيرها إلا بواسطة محطات متنقلة (من قبيل البحث عن أجهزة إرسال غير مشروعة، وتسوية حالات التداخل، وما إلى ذلك). ويمكن استخدام هذه الإحصاءات لتحديد المزيج الأمثل من المحطات الثابتة والمحطات المتنقلة.

3 التخطيط والاستخدام الأمثل لشبكات مراقبة الطيف بقياس زوايا الوصول

1.3 المبادئ الأساسية للمنهجية العامة القائمة

تستند المنهجية المعروضة في القسم 8.6 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011) إلى حساب ثم تحليل أربع مساحات متميزة للتغطية بالمراقبة. ويتطلب كل منها مستويات مختلفة من الحساسية في مستقبِلات المراقبة. والوظائف الثلاث الأولى هي:

- التنصت (حساسية المستقبِل عند الحد الأقصى – أبعد مدى)
- قياس خصائص الإرسال (حساسية المستقبِل عند حد أدنى – مدى أقرب)
- تحديد الاتجاه – (حساسية المستقبِل عند الحد الأدنى – أقرب مدى). يفترض الجدول 8.6-1 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011)، لأغراض المقارنة، القيم التالية لعتبة شدة المجال عند حدود كل منطقة على التوالي:
  - 0 dB(μV/m) للتنصت،
  - 12 dB(μV/m) لقياس خصائص الإرسال،
  - 20 dB (μV/m) لتحديد الاتجاه.

ومن الممكن، لأغراض التخطيط، اعتماد قيم أخرى لشدة المجال عند الحدود، تبعاً لخصائص المعدات ومنهجية قياس خصائص الإرسال التي يتعين استخدامها في شبكة مراقبة الطيف. ومناطق التغطية هذه مستقلة لكل محطة مراقبة، ومن شأن دمجها معاً أن يحدد مناطق التغطية الشاملة لكل وظيفة من وظائف المراقبة.

ويتم تحديد مساحات المناطق أساساً بحكم تضاريس المنطقة التي تقام فيها شبكة مراقبة الطيف، وارتفاع هوائيات المحطات وقدرتها، وارتفاع هوائيات المرسِلات التي يتعين مراقبتها. وثمة نموذج مناسب لانتشار الموجات الراديوية وارد في الملحق 5 من التوصية ITU-R P.1546-5. ويرد في الفقرة 1.1 منه وصف طريقة خاصة للحساب يُوصى بها لأغراض المراقبة. ويمكن أيضاً استخدام نموذج التوصية ITU-R P.1812-3، وكذلك بعض نماذج الانتشار الأخرى (انظر الفقرة 2 أعلاه).

ويقترح الجدول 8.6-1 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011) ثلاث فئات من "مرسِلات الاختبار" ذات القدرة المنخفضة والهوائيات المنخفضة نسبياً، يمكن استخدامها لنمذجة شبكات مراقبة الطيف ومحاكاتها وتخطيطها.

وفئات القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) هذه هي كما يلي:

- الفئة الأولى

القدرة 10 واط، ارتفاع الهوائي 1,5 متر (مرسِلات راديوية متنقلة خاصة (PMR) – محمولة على متن مركبات خفيفة).

- الفئة الثانية

القدرة 10 واط، ارتفاع الهوائي 20 متراً (محطات قاعدة PMR، مرسِلات بث ذات قدرة منخفضة، مرسِلات مستجيبات تلفزيونية).

– الفئة الثالثة

القدرة 20 واط، ارتفاع الهوائي 40 متراً (نفس نمط المرسِل كما في الفئة الثانية ولكن بقدرة وارتفاع هوائي أكبر إلى حد ما).

ومن الواضح أن شبكة مراقبة الطيف ستكون أكثر فعالية في مراقبة مرسِلات قوية ذات هوائيات أكثر ارتفاعاً.

والوظيفة الرابعة في المراقبة هي تحديد الموقع. وتستند منطقة تغطية المواقع، وهي حاسمة الأهمية في طوبولوجيا المحطات الثابتة في شبكة مراقبة الطيف، إلى عملية التثليث، وهي تقابل تراكب مناطق تغطية تحديد الاتجاه لما لا يقل عن محطتين في شبكة المراقبة. وكلما ازدادت المسافات بين المحطات، تناقصت مساحات مناطق تحديد الاتجاه المتراكبة (أي منطقة تغطية المواقع) بسرعة حتى تنعدم. ومن الخصائص التي تتميز بها منطقة تغطية المواقع هو أن عدم التيقن (أو الدقة) في تحديد الموقع يمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً داخل تلك المنطقة، خلافاً لما هو الحال عادةً في وظائف المراقبة الثلاث الأخرى. فهو يختلف، ويكون الاختلاف كبيراً أحياناً، داخل المنطقة ويشكل ما يسمى "قالب تغطية المواقع" (LCT) الذي يرد وصفه بالتفصيل في القسم 4.1.3.7.4 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011).

وفي أي نقطة داخل قالب تغطية المواقع LCT، تتوقف قيمة عدم التيقن من الموقع على عدد من العوامل، أهمها ما يلي (انظر الشكل 1):

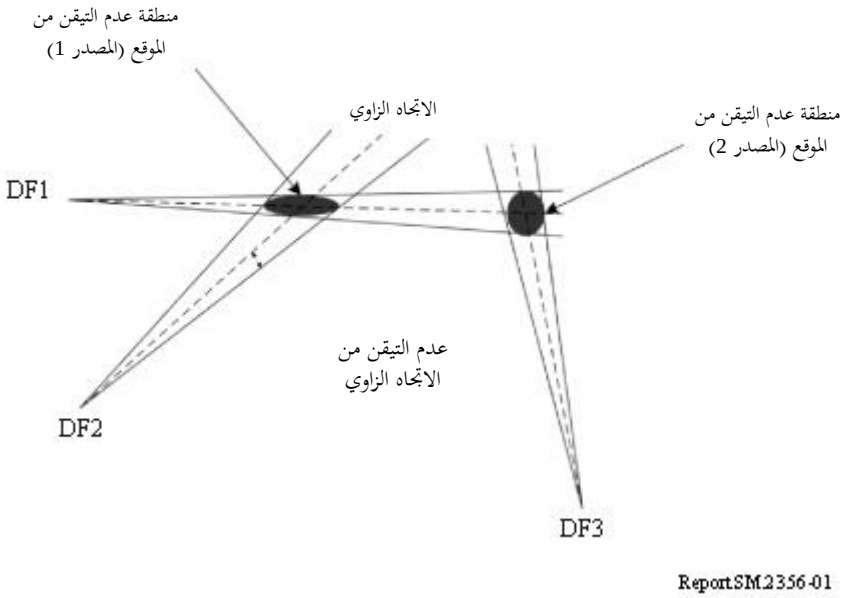
– قيم عدم التيقن من الاتجاه الزاوي لمحددات الاتجاه المستخدمة في التثليث، مما يؤدي إلى حدوث قطاعات تتوزع فيها فرادى خطوط الاتجاه الزاوي بحسب الزاوية؛

– المسافات من محددات الاتجاه إلى مناطق التقاطع لقطاعات توزيع خطوط الاتجاه الزاوي؛

– زوايا تقاطع قطاعات توزيع خطوط الاتجاه الزاوي.

الشكل 1

العوامل التي تؤثر في قيم عدم التيقن من موقع مصادر الإرسال الراديوي



وهكذا، فإن قالب تغطية المواقع LCT هو الأكثر أهمية بالنسبة لطائفة من العوامل، ويجب أن يؤخذ ذلك بعين الاعتبار في عملية التخطيط لشبكة مراقبة الطيف. وهذا القالب هو أيضاً أفضل مؤشر على الجودة، بالنسبة للشبكة كلها وبالنسبة لمختلف أجزائها على السواء.

ومما يتسم بأهمية كبرى في عملية التخطيط هي منطقة تغطية محددات الاتجاه الشاملة للمحطات الثابتة، لأن هذه المحطات توفر الاتجاهات الزاويّة في هذه المنطقة، مما يسهل عملية تحديد مصادر الإرسال من المحطات المتنقلة المتفاعلة مع المحطات الثابتة.

ووفقاً للقسم 8.6 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011)، وفي الحالات التي تتطلب تغطية مراقبة شاملة فوق مساحة كبيرة حيث يحتاج الأمر إلى عدد كبير من المحطات الثابتة، يمكن أن يستند التخطيط لشبكة مناسبة لمراقبة الطيف إلى نظرية الشبكات العادية على النحو المبين في التقرير ITU R BS.944. ويمكّن هذا النهج من استحداث شبكة لمراقبة الطيف تكون فيها المسافات كبيرة نسبياً بين المحطات في المناطق الريفية وأصغر نسبياً في المناطق الحضرية أو الصناعية، حيث تكون كثافة المرسِلات الخاضعة للمراقبة عالية.

2.3 نمذجة شبكة مراقبة الطيف بمساعدة الحاسوب

الخطوات الأساسية هي:

1) تحديد ما هو الهدف؛
2) تقييم التغطية بالمراقبة للمحطات القائمة؛
3) إنشاء شبكة عادية أولية؛
4) تقييم التغطية بالمراقبة بواسطة محطات في الشبكة العادية الأولية وتحقيق المستوى الأمثل من عدد المحطات وخصائصها؛
5) التقسيم الفرعي لفرادى خلايا الشبكات الأولية وابتغاء الحد الأمثل من عدد المحطات والمعلمات الخاصة بها؛
6) صقل مواقع فرادى المحطات وخصائصها في نموذج حاسوبي.

وسوف تناقش كل من هذه الخطوات بمزيد من التفصيل.

1.2.3 تحديد ما هو الهدف

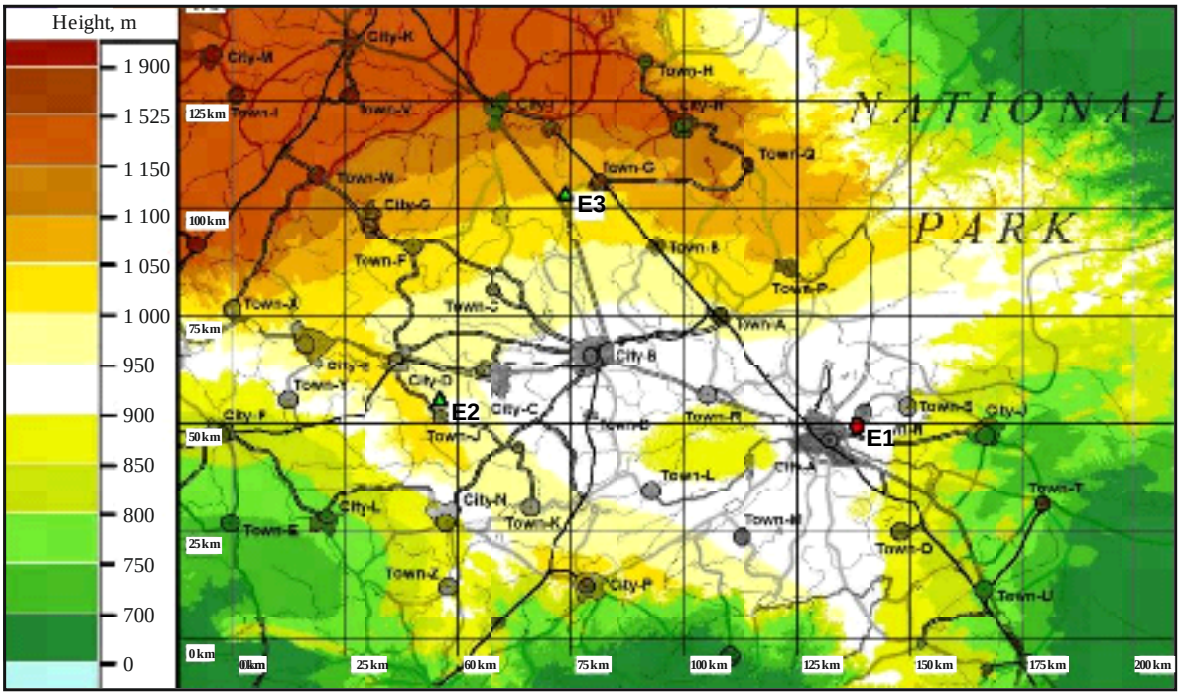
حالما تُتخذ القرارات الرئيسية، التمهيدية على الأقل، وتُجمع البيانات اللازمة، يمكن أن تبدأ عملية نمذجة شبكة مراقبة الطيف المتوخاة بمساعدة الحاسوب. وسوف يستخدم مثال محدد من شبكة المراقبة المطلوبة لتوضيح المراحل في عملية التخطيط.

لنفترض أن إدارة ما ترغب، في ضوء الموارد المالية المتاحة، إنشاء شبكة جديدة لمراقبة الطيف في مساحة مأهولة بالسكان في المنطقة المبينة مع تضاريسها في الشكل 2. ولنفترض أن هنالك بالفعل في المنطقة المعنية ثلاث محطات ثابتة (E1 وE2 وE3) مجهزة بمعدات حديثة إلى حد ما (جذر متوسط تربيع عدم التيقن في تحديد الاتجاه بمقدار 1°)، وينبغي تضمينها في الشبكة المخطط لها دون أي ترقية. ويبلغ ارتفاع هوائيات هذه المحطات 30 متراً للمحطتين E1 وE2 و20 متراً للمحطة E3، وليس من المرتقب حدوث أي تغيير.

ومن المفترض أيضاً أن يُتخذ قرار لضمان تغطية شاملة، لجميع وظائف المراقبة بما فيها الموقع، للجزء المأهول بالسكان في المنطقة قيد النظر بالنسبة لمرسِلات اختبار الفئة الثانية (أي بقدرة 10 واط وارتفاع هوائي 20 متراً). وبالإضافة إلى ذلك، يتعين أن يتمتع الجزء الأكثر تطوراً اقتصادياً في المنطقة، الواقع بين المدينة A والمدينة E، بتغطية شاملة على الأقل لوظيفة تحديد الاتجاه لفئة المرسِلات الأولى (بقدرة 10 واط وارتفاع هوائي 1,5 متر). ومن المرتقب أن تضمن المعدات في المستقبل دقة جذر متوسط التربيع في تحديد الاتجاه بمقدار 1°.

الشكل 2

المنطقة قيد النظر وهي تضم ثلاث محطات قائمة



Report SM.2356-02

وهكذا يكون لدينا، لأغراض النمذجة الحاسوبية (انظر الشكلين 2 و3)، الشروط الأولية التالية:

1) شبكة لمراقبة الطيف SMN قائمة – ثلاث محطات ثابتة (E1 وE2 وE3):
   - المحطة E1 – ارتفاع الهوائي 30 متراً؛
   - المحطة E2 – ارتفاع الهوائي 30 متراً؛
   - المحطة E3 – ارتفاع الهوائي 20 متراً؛
   - جذر متوسط تربيع عدم التيقن في تحديد الاتجاه هو 1°.
2) متطلبات شبكة لمراقبة الطيف جديدة:
   - تغطية شاملة للجزء المأهول بالسكان في المنطقة بجميع وظائف المراقبة بما في ذلك الموقع لمرسِلات الفئة الثانية (قدرة 10 واط وارتفاع هوائي 20 متراً)؛
   - تغطية شاملة للمنطقة بين المدينة A والمدينة E على الأقل لتحديد الاتجاه لمرسِلات الفئة الأولى (قدرة 10 واط وارتفاع هوائي 1,5 متر)؛
   - جذر متوسط تربيع عدم التيقن في تحديد الاتجاه هو 1°.

2.2.3 النمذجة الأولية لشبكة مراقبة الطيف

1.2.2.3 تقييم تغطية المحطات القائمة بالمراقبة

تُحسب مناطق تغطية المحطات القائمة بمختلف وظائف المراقبة بواسطة برمجية حاسوبية تتمتع على الأقل بالميزات المذكورة في الفصل 5 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد لتقنيات إدارة الطيف باستخدام الحاسوب (طبعة 2015).

وبالنسبة للمثال قيد النظر هنا، تظهر مناطق تغطية جميع المحطات القائمة للتنصت وقياس خصائص الإرسال وتحديد الاتجاه في الشكل 3، وللموقع (أي قالب تغطية المواقع LCT) في الشكل 4. وقد أُجريت الحسابات من أجل مرسِلات اختبار بتردد 450 MHz من الفئة الثانية. ويستخدم هذا التردد في جميع الحسابات اللاحقة ما لم يحدد خلاف ذلك. وتقابل المساحات الخضراء في الشكل 3 التغطية فيما يتعلق بالوظيفة الأكثر حساسية (التنصت)، وتمثل المساحات الوردية التغطية فيما يتعلق بالوظيفة الأقل حساسية إلى حد ما لقياس معلمة الإرسال، وتبين المساحات الصفراء تغطية تحديد الاتجاه، وهي أقل الوظائف حساسية. ويجري حساب قالب تغطية المواقع (يبدو توزيع مدى عدم التيقن من الموقع بتدرجات اللون في الشكل 4) من أجل احتمال 50 في المائة من تحديد موقع المرسِل في إهليلج عدم التيقن المقابل (انظر القسم 4.1.3.7.4 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية للاتحاد بشأن مراقبة الطيف، طبعة 2011).

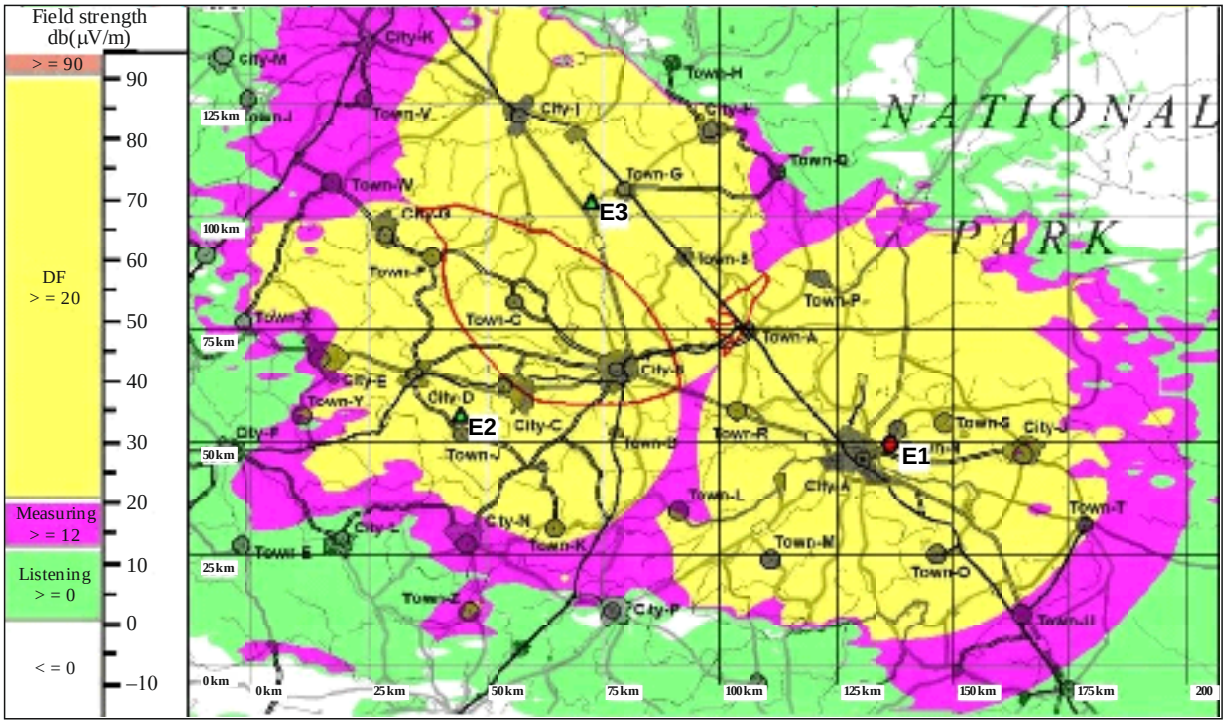
وحدود منطقة التغطية المشتركة لتحديد الاتجاه (الموضحة باللون الأصفر في الشكل 4) مرسومة بخط أحمر في الشكل 4، بينما يمثل الخط الأحمر في الشكل 3 حدود قالب تغطية المواقع الذي يتشكل بتجميع المناطق الملونة في الشكل 4.

ويبين الشكل 4 أن تغطية الموقع التي توفرها المحطات القائمة، حتى فيما يتعلق بمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية، بعيدة جداً عن تلبية المتطلبات المحددة.

والاستنتاج واضح في هذه الحالة بالذات، حتى دون إجراء أي حسابات مفصلة. ولكن في حالات أخرى، عندما يكون الهدف هو تحسين شبكة لمراقبة الطيف كثيفة بشكل معقول، فإن هذه الحسابات حاسمة ويمكن استخدامها كأساس للخطوات اللاحقة في النمذجة بمساعدة الحاسوب.

الشكل 3

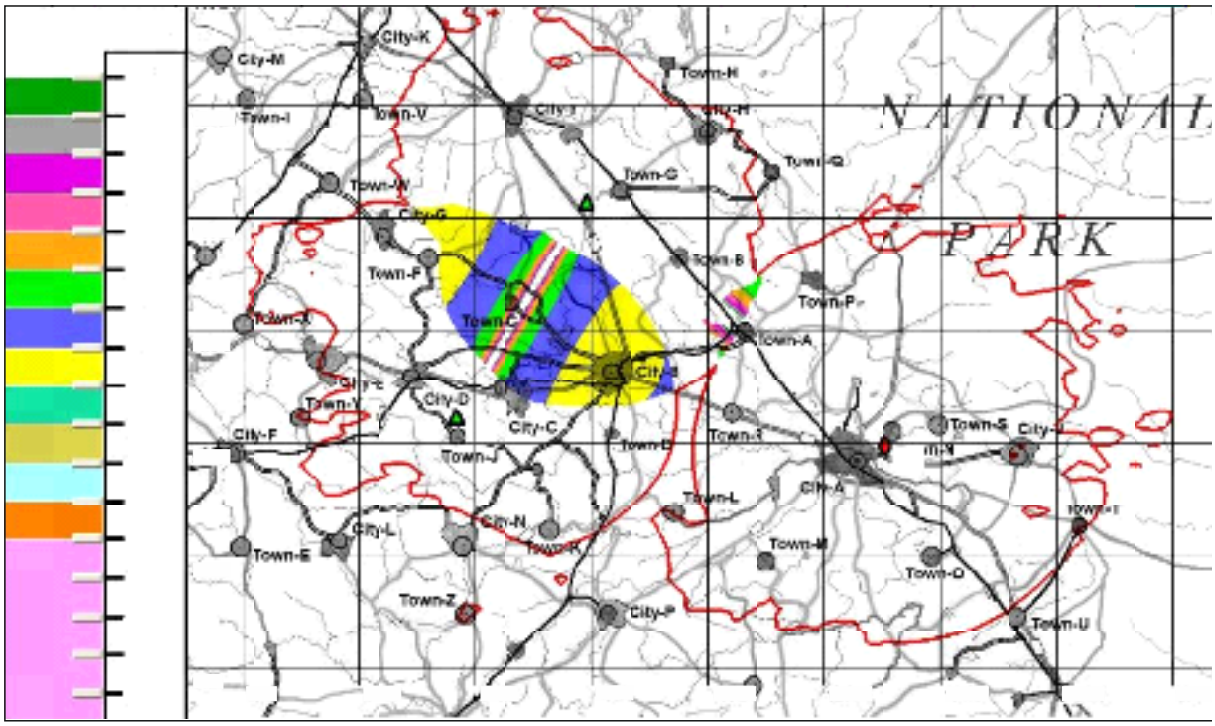
المناطق الإجمالية للتغطية بالمراقبة بواسطة المحطات القائمة الثلاث



Report SM.2356-03

الشكل 4

قالب تغطية الموقع للمحطات الثلاث القائمة



Report SM.2356-04

2.2.2.3 تَوضُّع شبكة عادية أولية

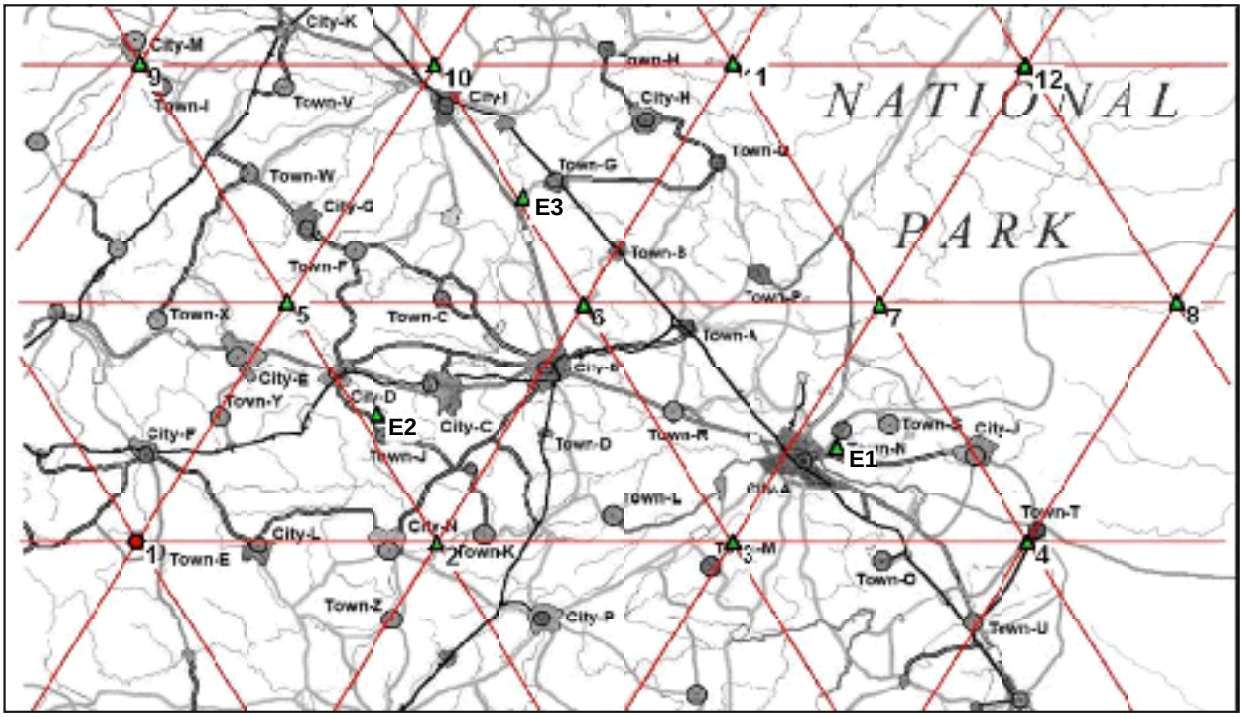
تُضاف طبقة شبكة عادية أولية فوق المنطقة قيد النظر، بتباعد قدره 60 كيلومتراً بين العقد. وتحدد مواقع محطات المراقبة تقريباً في عقد الشبكة. وهناك خيارات مختلفة عديدة جداً لترتيب العقد في شبكة عادية من هذا النوع فيما يتعلق بالمراكز السكانية والمعالم الجغرافية الأخرى. إذ يمكن ترتيب هذه العقد مثلاً بحيث تتطابق مع المحطات القائمة أو تكون قريبة منها، أو تقع حول المنطقة موضع الاهتمام الأكبر من حيث المراقبة.

لنفترض أن قراراً اتُّخذ لترتيب عقد الشبكة وفقاً للخيار الثاني المذكور أعلاه، وذلك بوضعها حول المنطقة التي تضم المدن من A إلى E كما هو مبين في الشكل 5، على افتراض وضع 12 محطة إضافية عند عقد الشبكة. وتكون المحطات القائمة قريبة من عقد عناصر الشبكة العادية الثانوية بتباعد قدره 30 كيلومتراً بين العقد، كما سنرى في البند 4.2.2.3.

ولدى النظر في الشكل 5، يبدو أن بالإمكان استبعاد المحطتين 8 و12 من أي اعتبارات إضافية من باب الاقتصاد، ذلك لأنهما فوق أرض محمية وطنية لا يوجد فيها مراكز سكانية ومن ثم لا تتطلب المراقبة بواسطة محطات ثابتة.

الشكل 5

شبكة عادية أولية



Report SM.2356-05

3.2.2.3 تقييم التغطية بالمراقبة لمحطات شبكة عادية أولية؛ تحقيق الحد الأمثل في عدد المحطات وخصائصها

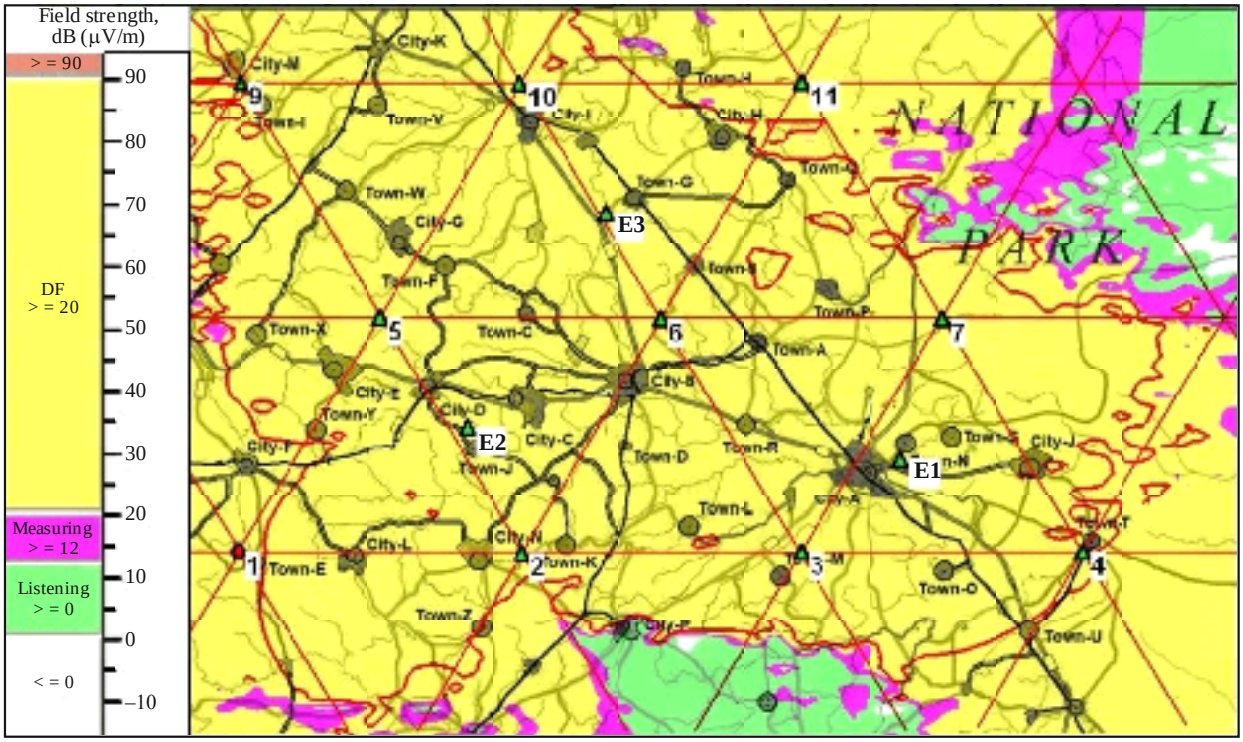
ثم ننتقل إلى الخطوة التالية، وهي حساب مناطق التغطية بمختلف وظائف المراقبة للمحطات الواقعة في عقد الشبكة العادية الأولية، إلى جانب المحطات القائمة. وتُستخدم نتائج هذه العملية للمضي في استمثال عدد المحطات، إذا كان من الممكن القيام بذلك في هذه المرحلة.

ويبين الشكل 6 نتائج الحسابات للتأكد من التغطية بمختلف وظائف المراقبة لمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية وارتفاع هوائيات جميع المحطات الجديدة بمقدار 30 متراً، بينما يبين الشكل 7 قالب تغطية الموقع (LCT) المقابل. ويتضح من الشكل 7 أنه باستخدام هذا العدد من المحطات وتشكيل شبكة مراقبة الطيف المخطط لها، تكاد تتحقق التغطية الشاملة لمواقع مرسِلات الاختبار من الفئة الثانية. ويتضح من الشكل 7 أيضاً أن المحطة 11 لا تسهم إلى حد كبير في تغطية مواقع المناطق المجاورة ويمكن الاستغناء عنها بغية الحد من تكاليف النظام. والمحطة 7 تخدم مناطق قليلة الكثافة بالسكان على حدود المحمية الوطنية ويمكن أيضاً الاستغناء عنها. وإذا استدعى الأمر المزيد من التخفيضات في التكلفة، يمكننا النظر في الاستغناء عن المحطة 4، الواقعة أيضاً على حدود المحمية الوطنية.

ويبين الشكل 8 التغطية بالمراقبة لهذه الشبكة الأولية لمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية بعد استبعاد المحطات 11 و7 و4. ويؤدي استبعاد المحطة 4 إلى فقدان خدمة الموقع للمدينة J، على الرغم من أنها تبقى مغطاة بمحدد الاتجاه. ومع ذلك، فإن المدينة J سيكون لها تغطية موقع لمرسِلات الاختبار من الفئة الثالثة، كما يتبين من الشكل 9. ويوضح الشكل 9 تغطية أفضل للمواقع في الأجزاء الجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية من المنطقة التي تضم الآن عدة مدن وبلدات أخرى.

الشكل 6

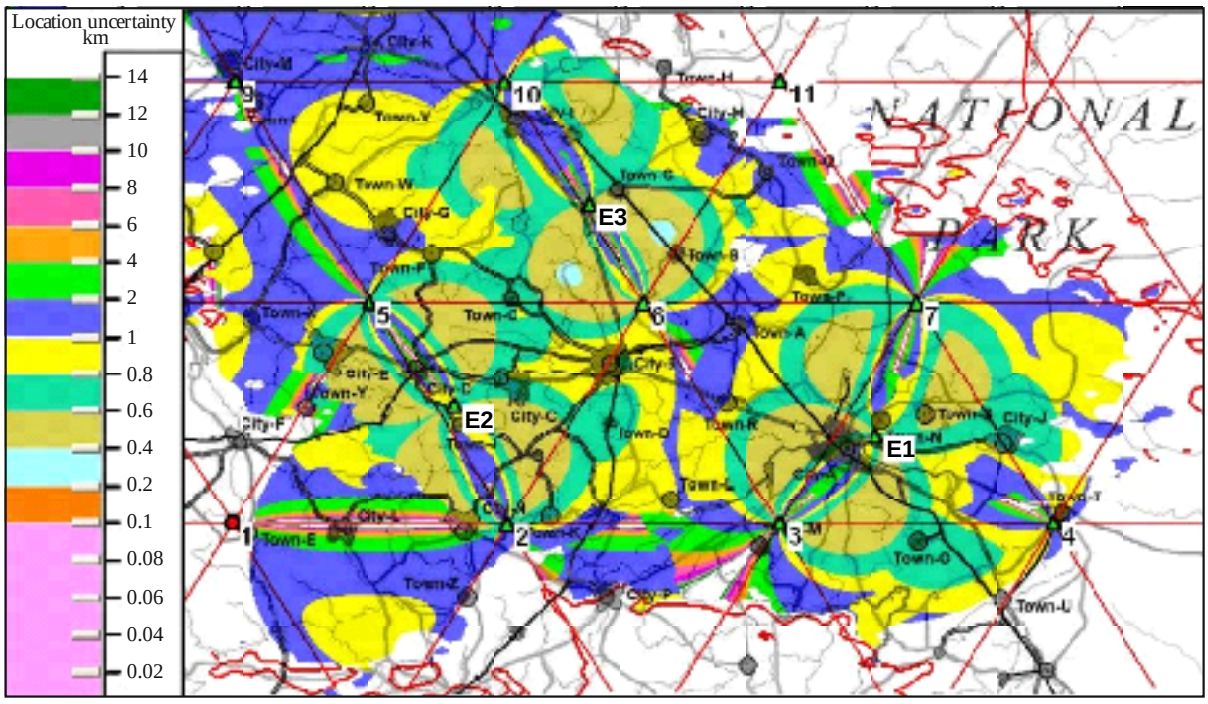
تغطية الشبكة الأولية بالمراقبة لمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية



Report SM.2356-06

الشكل 7

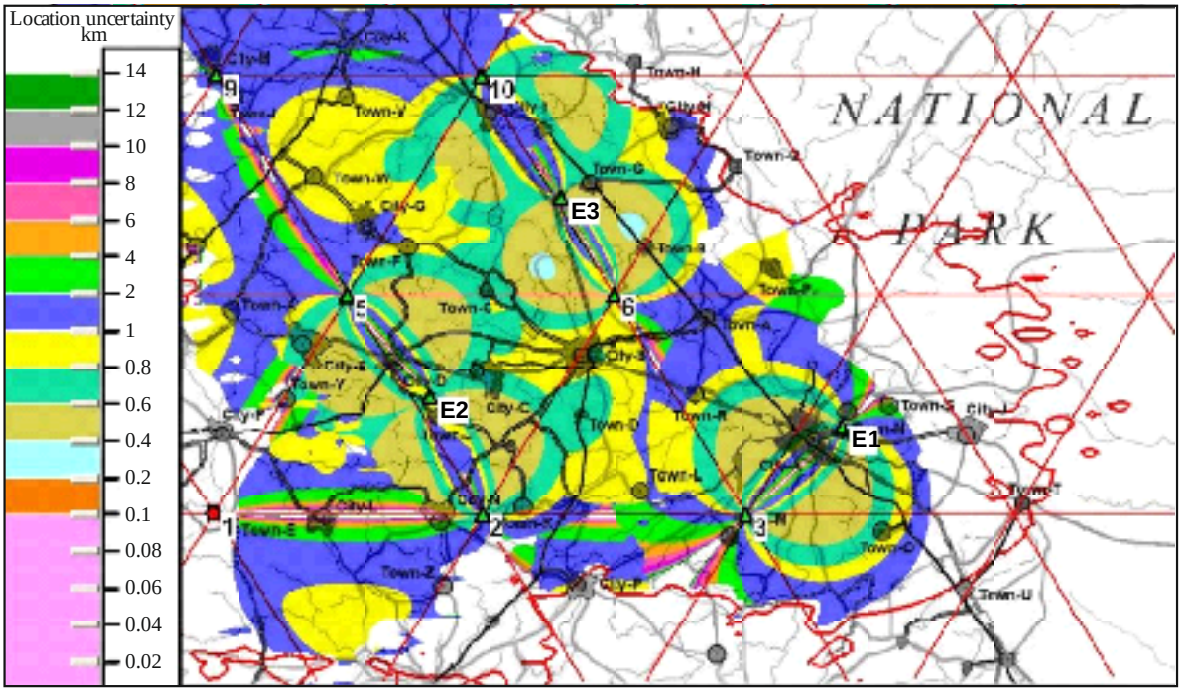
قالب تغطية الموقع في الشبكة الأولية لمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية



Report SM.2356-07

الشكل 8

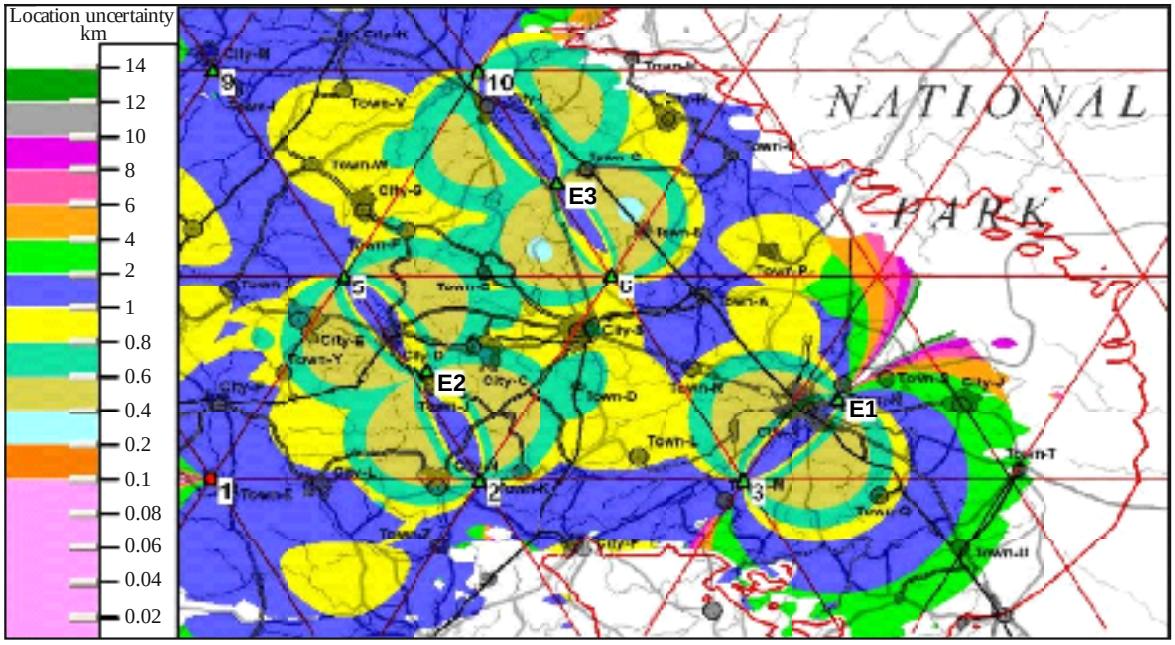
قالب تغطية الموقع في الشبكة الأولية (باستبعاد المحطات 4 و7 و11) لمرسِلات الاختبار من الفئة الثانية



Report SM.2356-08

الشكل 9

قالب تغطية الموقع في الشبكة الأولية (باستبعاد المحطات 4 و7 و11) لمرسِلات الاختبار من الفئة الثالثة



Report SM.2356-09

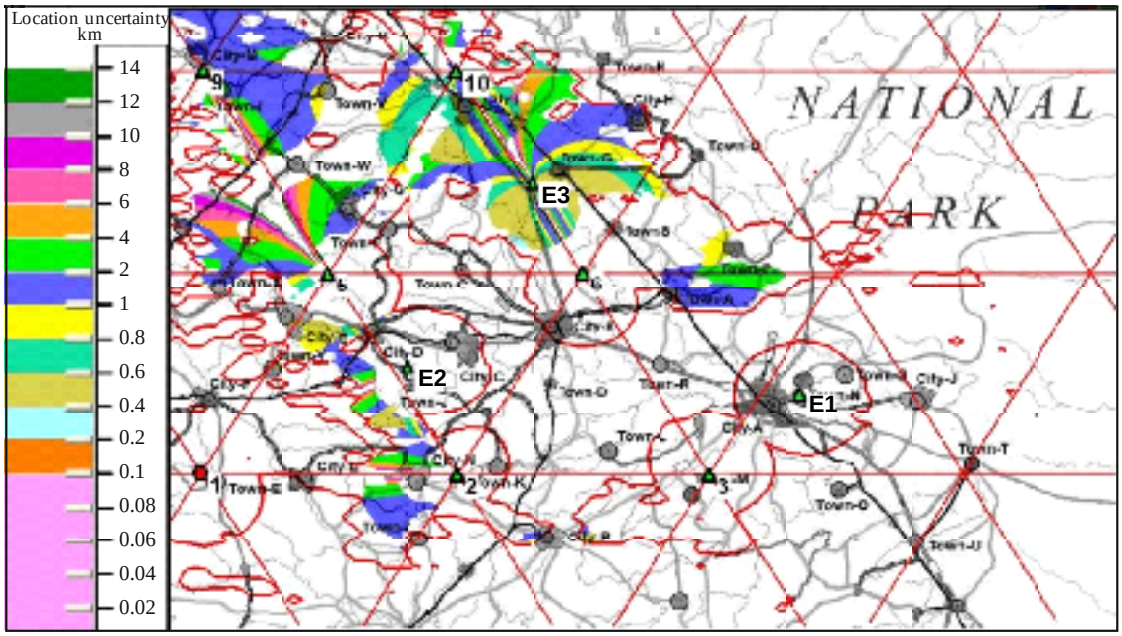
واستناداً إلى هذه البيانات، يمكن للإدارة أن تقرر ما إذا كانت تريد الاحتفاظ بالمحطة 4 في شبكة مراقبة الطيف المخطط لها أم لا. ويمكن تأجيل القرار حتى اكتمال تخطيط الشبكة بأكملها (انظر المراحل اللاحقة) وتحديد العدد الكلي للمحطات ومعرفة التمويل المتاح والمرتقب المأخوذ في الحسبان. وربما من الأفضل عدم إدراج هذه المحطة خلال المرحلة الأولى من وضع الشبكة، وإرجاء البت فيها إلى مراحل لاحقة.

ومن الجدير بالملاحظة، لدى مقارنة الشكلين 8 و9، أن الزيادة الكبيرة في القدرة وارتفاع الهوائي بين مرسِلات الاختبار من الفئة الثانية والفئة الثالثة ليس لهما تأثير يُذكر من حيث تحسين التغطية في الأجزاء الشمالية الشرقية والجنوبية من المنطقة (حوالي البلدة H والمدينة P، على التوالي). ومردّ ذلك، في الحالة الأولى، هو الانخفاض الحاد في متوسط ارتفاع أراضي المنطقة. وهو، في الحالة الثانية، نتيجة لزيادة في متوسط ارتفاع أراضي المنطقة، كما يبدو في الشكل 2. ومن الواضح أنه لا يمكن تحديد هذه الآثار الهامة بمزيد من التفصيل دون إجراء الحسابات المناسبة.

ويبين الشكل 10 التغطية بمحددات الاتجاه والموقع في شبكة مراقبة الطيف (باستبعاد المحطات 11 و7 و4) لمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى. ومن الواضح، فيما يتعلق بمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى، أن الشبكة تفشل في تحقيق الهدف من مراقبة المنطقة الواقعة بين المدينة A والمدينة E على نحو أكثر تفصيلاً. ولذا من الضروري زيادة كثافة الشبكة الأولية داخل المنطقة المعنية.

الشكل 10

قالب تغطية المواقع في الشبكة الأولية لمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى



Report SM.2356-10

4.2.2.3 التقسيم الفرعي لفرادى خلايا الشبكات الأولية والمضي في استمثال عدد المحطات ومعلماتها

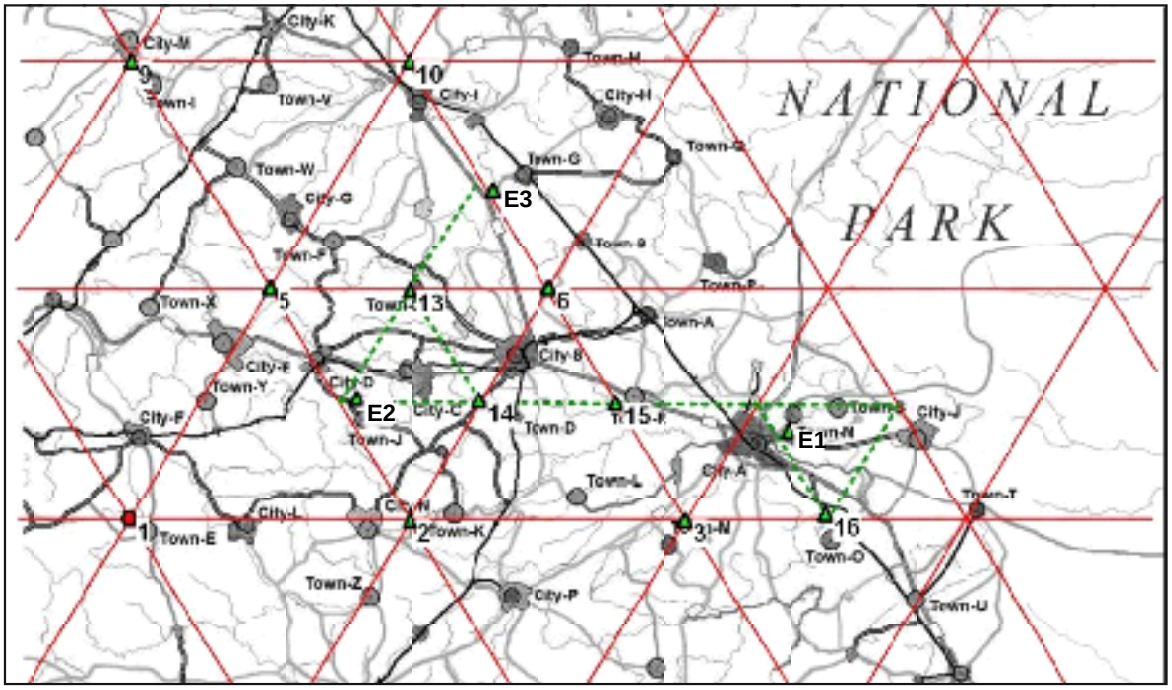
رغبة في زيادة كثافة هذا الجزء من شبكة مراقبة الطيف، يمكن تقسيم كل من فرادى الخلايا المثلثة في الشبكة الأولية إلى أربع خلايا ثانوية مثلثة بتباعد بين المحطات قدره 30 كيلومتراً، وينبغي تحديد مواقع محطات إضافية في كل أو بعض عقد الخلايا الجديدة.

وثمة خيار ممكن في المثال قيد النظر، يبدو أنه خيار أمثل من حيث الاقتصاد، وهو مبين في الشكل 11 بالخطوط المتقطعة الخضراء.

وينقسم المثلث الأساسي الذي تحدده المحطات 2 و5 و6 إلى أربعة مثلثات ثانوية، لا تتطلب سوى محطتين جديدتين (13 و14)، ذلك لأن المحطة القائمة E2 تستخدم بمثابة المحطة الثالثة. وفي كل من المثلثات الأولية الأربعة الأخرى، يتم تحديد مثلث ثانوي واحد فقط، وفي ثلاثة منها تستخدم المحطتان القائمتان E1 وE3.

الشكل 11

شبكة أولية تضم عناصر شبكة ثانوية



Report SM.2356-11

ويبين الشكل 12 التغطية المشتركة بمحددات الاتجاه في شبكة مراقبة الطيف هذه الأكثف لمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى، ويبين الشكل 13 تغطية المواقع. ويتضح من هذين الشكلين أن شبكة مراقبة الطيف التي يتم الحصول عليها على هذا النحو تلبي أساساً المتطلبات المتوخاة، على الرغم من وجود مناطق صغيرة، إلى الجنوب الشرقي من المدينة B، تقتصر التغطية فيها على قياسات خصائص الإرسال (المساحات المبينة باللون الوردي في الشكل 12). ومن ناحية أخرى، تختفي هذه المساحات غير المغطاة بمحددات الاتجاه بالنسبة لمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى عندما نستخدم مرسِلات اختبار بقدرة 10 واط وارتفاع هوائي بمقدار 5 أمتار (مباني من طابق واحد وهوائيات بارتفاع 2 متر مقامة على السطح)، كما يتضح في الشكل 14.

فإذا كان من المرغوب فيه تخفيض مساحة هذه المناطق التي تفتقر إلى التغطية بمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى، فيمكن زيادة ارتفاع هوائي المحطتين 3 و15 المخطط لهما والمحطة E1 القائمة، إذا لزم الأمر، إلى 50 متراً. ويبين الشكل 15 تحسين التغطية بالمراقبة بفضل زيادة ارتفاع هوائي هذه المحطات إلى 50 متراً.

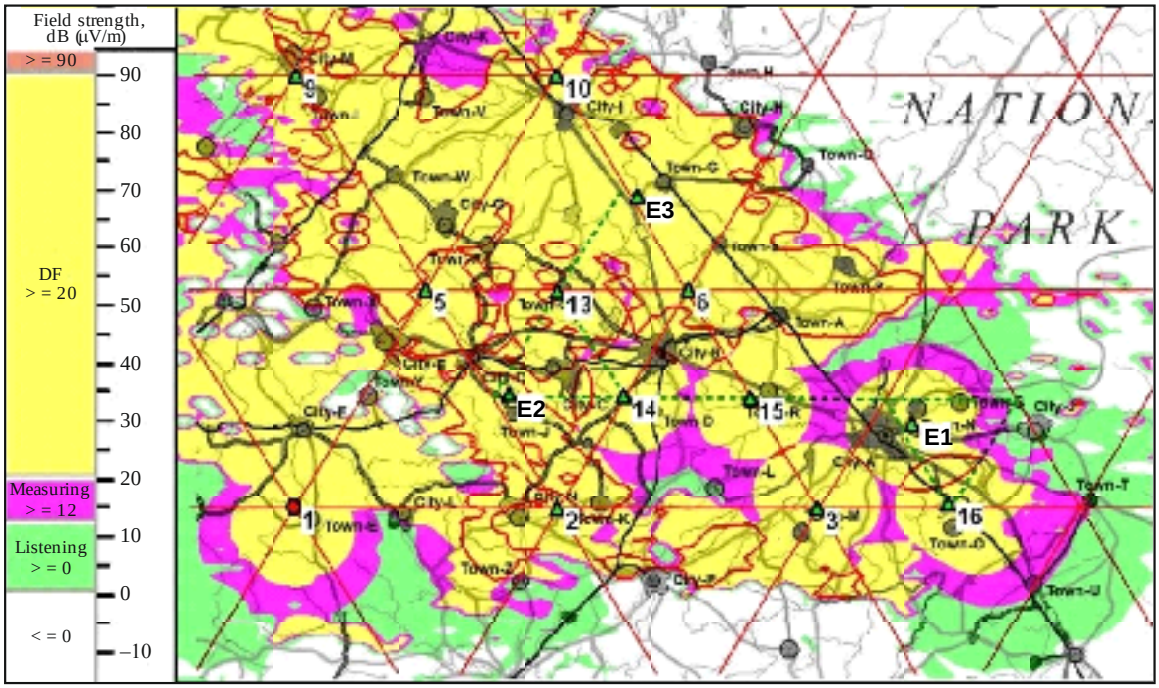
ويبين الشكل 13 بوضوح تأثير التضاريس على التغطية بالمراقبة. فتغطية الأراضي الواقعة شمال خط مستقيم يصل ما بين المحطات 5 و13 و6 أفضل تغطية بكثير من حيث محددات الاتجاه والموقع من تغطية الأراضي جنوب هذا الخط، على الرغم من الانخفاض الكبير في كثافة محطات المراقبة، بما في ذلك المحطات الجديدة، في هذه المنطقة. ويرجع ذلك إلى أن الجزء الشمالي من المنطقة قيد النظر يقع على أرض مرتفعة في حين أن الجزء الأوسط يقع في وادٍ (انظر الشكل 2). وكذلك لا يمكن تحديد هذه الملامح الخاصة بالتغطية بالمراقبة لهذه المنطقة بوسائل أخرى إلاّ بإجراء حسابات معينة.

وفي هذه الظروف الجغرافية المعينة، يتمتع الجزء الشمالي من المنطقة بخدمة جيدة حتى بوظيفة تحديد المكان فيما يتعلق بمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى. وفي هذا السياق، قد ترغب الإدارة في تحقيق نفس التغطية في المنطقة الوسطى بين المدينة A والمدينة E. ويمكن تحقيق ذلك بإحدى طريقتين. أولاً، قد نحاول تقسيم بضعة مثلثات أولية أخرى إلى أربعة مثلثات ثانوية – على سبيل المثال، المثلثات التي تحددها المحطات 2 و6 و3، وكذلك المحطات 6 و3 والمحطة 7 التي استُبعدت سابقاً – وأن نضع محطات إضافية في عدد من العقد في هذه المثلثات الثانوية. ولكن الحسابات تشير إلى أن هذا الحل غير فعّال.

أما الخيار الثاني فهو أنجع بكثير وقابل للتطبيق عموماً. وهو ينطوي على تقسيم بعض المثلثات الثانوية (بتباعد 30 كم بين المحطات) الواقعة بين المدينة A والمدينة E إلى عناصر مثلثات ثالثية بتباعد km 15 بين المحطات. وهذا يسمح باستبعاد بعض محطات الشبكة الأساسية مثل المحطتين 2 و3 وكذلك محطة الشبكة الثانوية 16. وستكون تغطية أقصى الجزء الجنوبي من المنطقة أسوأ إلى حد ما مما كانت عليه، ولكن يمكن أن تعتبر هذه الخسارة مقبولة، نظراً للكثافة السكانية المنخفضة نسبياً.

الشكل 12

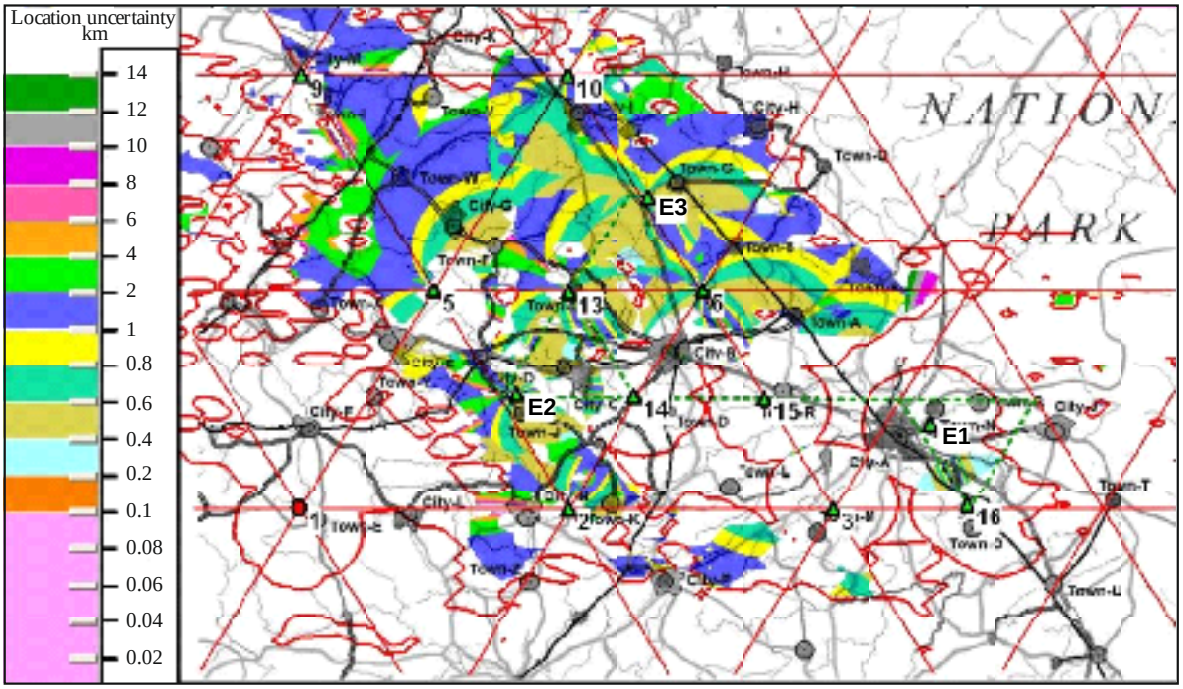
تغطية مرسِلات الاختبار من الفئة الأولى بالمراقبة في شبكة أكثف لمراقبة الطيف



Report SM.2356-12

الشكل 13

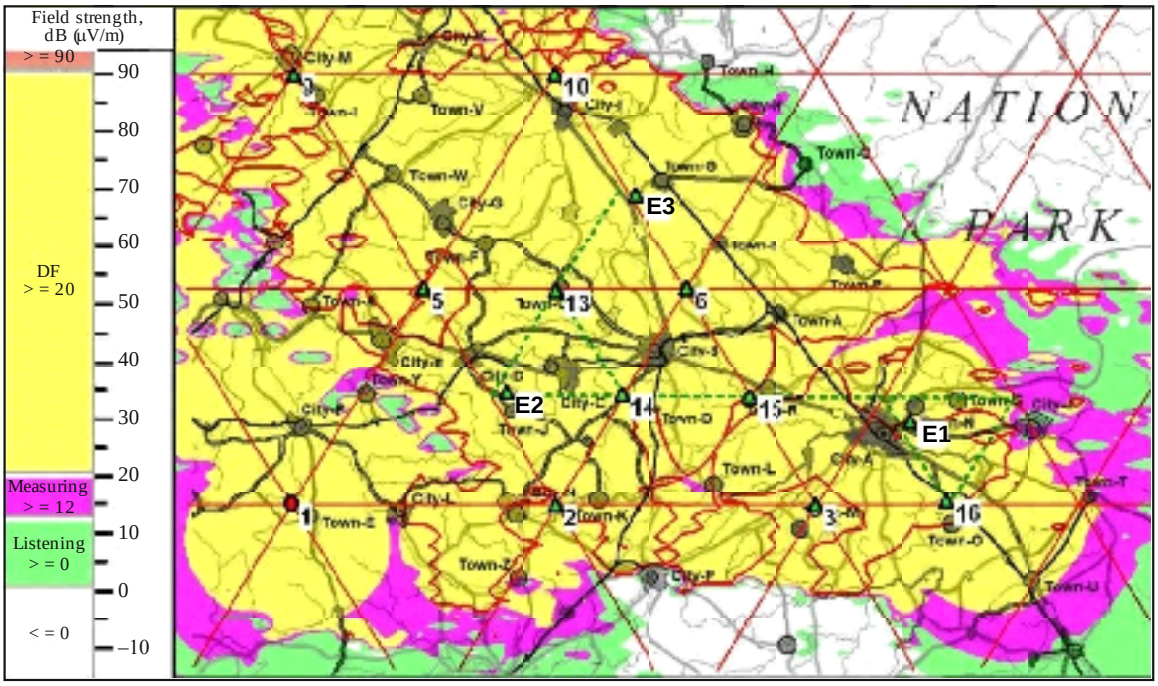
قالب تغطية الموقع لمرسِلات الاختبار من الفئة الأولى في شبكة أكثف لمراقبة الطيف



Report SM.2356-13

الشكل 14

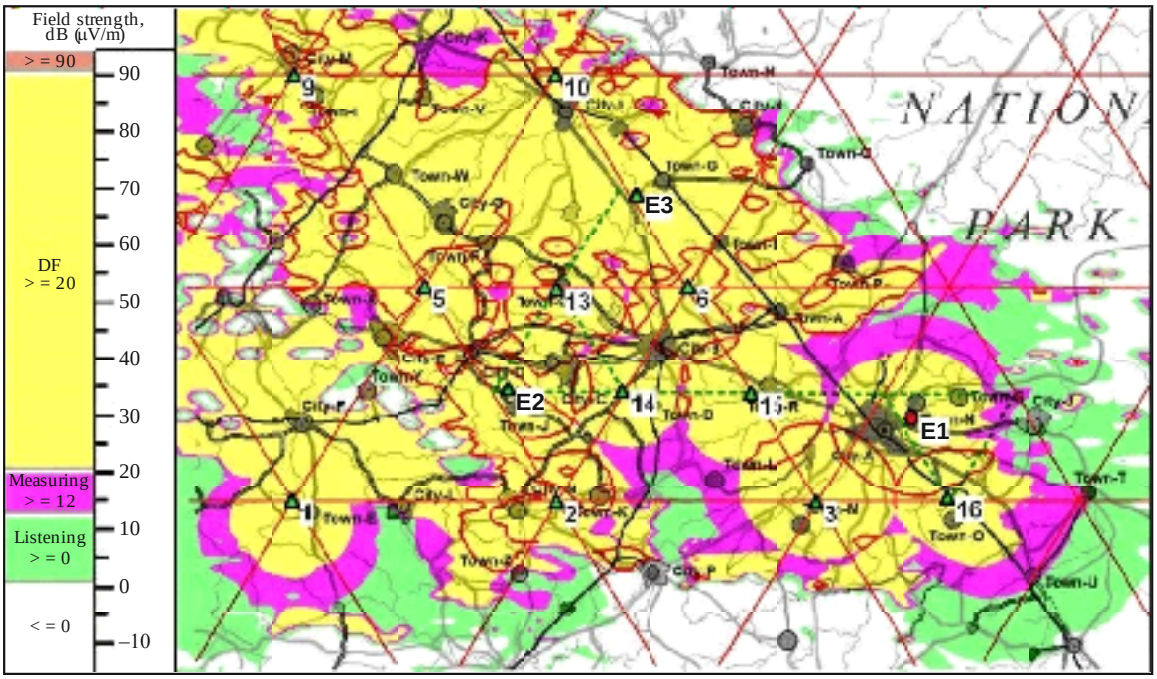
تغطية مرسِلات الاختبار بقدرة 10 واط وارتفاع هوائي بمقدار 5 أمتار بالمراقبة في شبكة أكثف لمراقبة الطيف



Report SM.2356-14

الشكل 15

تغطية مرسِلات الاختبار من الفئة الأولى في شبكة أكثف لمراقبة الطيف
عند زيادة ارتفاع هوائيات المحطات 3 و15 وE1 إلى 50 متراً



Report SM.2356-15

ويترتب على ما سبق أن هناك، من حيث المبدأ، العديد من الحلول الممكنة، ولكن كل واحد منها يمكن تحليله بسهولة بحسابات التغطية للتعرف على الحل المعيّن الذي يمكن أن تقبله الإدارة باعتباره أفضل حل في الحالة قيد النظر.

وتبين الأشكال الواردة أعلاه وتحليلها بوضوح أن قالب تغطية الموقع هو أفضل مؤشر على جودة شبكة مراقبة الطيف ككل وجودة كل من أجزائها.

3.2.3 تفصيل مواقع ومعلمات المحطات في النموذج الحاسوبي

حالما يُتخذ قرار مبدئي بشأن تشكيل شبكة مراقبة الطيف، يمكن تحديد المعلمات المطلوبة ومواقع المحطات في نموذج حاسوبي.

يتعين أولاً تحديد المحطات المقصود منها تنفيذ جميع وظائف المراقبة. وبصفة عامة، تقع المحطات في واحدة من ثلاث فئات: محطات مأهولة، أو محطات متحكَّم بها عن بُعد، أو محطات تحديد اتجاه فقط (وهذه حصراً محطات متحكَّم بها عن بُعد). وجدير بالذكر، في الشبكة الأولية حيث تكون المسافة بين المحطات 60 km، أن على جميع المحطات عملياً أن تقوم بجميع وظائف المراقبة، وإلا سيكون هناك مناطق لا يغطيها قياس خصائص الإرسال أو حتى قياس التنصت. وفي الشبكة الثانوية، حيث تكون المسافة بين المحطات 30 km، قد تكون بعض المحطات محطات تحديد اتجاه متحكَّم بها عن بُعد حصراً.

على سبيل المثال، تظهر الحسابات في شبكة مراقبة الطيف قيد النظر، أن المحطات 6 و13 و16 يمكن أن تكون محطات تحديد اتجاه متحكَّم بها عن بُعد. وفي الشبكة الثالثية، حيث المسافة بين المحطات 15 km، يمكن أن يكون الكثير من المحطات محطات تحديد اتجاه متحكَّم بها عن بُعد. وكلما ازدادت كثافة الشبكة، أمكن زيادة عدد محطات تحديد الاتجاه المتحكَّم بها عن بُعد.

ورغبةً في تحديد ما هي المحطات التي يمكن أن تكون محطات تحديد اتجاه متحكَّم بها عن بُعد، من الضروري حساب منطقة التغطية لقياس معلمات الإرسال لمحطة معينة تقع ضمن مجموعة من المحطات الأخرى. وفي هذا المثال، تبدو المنطقة باللون الوردي وفي وسطها

منطقة تغطية محددات الاتجاه باللون الأصفر. عندئذ علينا أن نتأكد ما هي المحطات التي تقع ضمن حدود هذه المنطقة على مسافة معقولة من حدودها الخارجية.

ويمكن اعتبار هذه المحطات بمثابة محطات تحديد اتجاه محتملة يمكن التحكم بها عن بُعد، ويمكن التحقق من ذلك بإجراء حسابات لفرادى مناطق تغطيتها.

وفي هذه المرحلة، من المفيد أيضاً تحديد ما هي المحطات التي تقوم بجميع وظائف المراقبة والتي يجب أن تكون مأهولة للقيام لاحقاً بعمليات المسح الموقعي على نحو فعّال (انظر الفقرة 3.3 أدناه). ومن المرغوب فيه إقامة المحطات المأهولة في المدن الكبرى أو بالقرب منها وذلك لضمان تزويدها بالموظفين المؤهلين والبنية التحتية.

وكذلك، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار أن تكنولوجيا المعلومات الحديثة تجعل من الممكن إقامة مركز عمليات لمحطة ما في حي حضري غير نموذجي باستخدام معدات وهوائيات محطة تحكم عن بُعد ضمن حاوية خارج المدينة. ومن شأن هذا الحل أن يبسط مهمة العثور على قطع مناسبة من الأراضي وأن يمكّن من تحقيق تخفيض كبير في تكاليف اقتناء الموقع والبناء والتركيب. ولكن إذا أمكن إقامة موقع مركز التشغيل في مبنى شاهق في منطقة حضرية، عندئذ يمكن تركيب الهوائي على السطح، مما يغني عن الحاجة إلى اقتناء موقع لهذا الغرض. ومع ذلك، ينبغي أن يوضع في الاعتبار أن المحطات المأهولة يجب أن يتوفر لها مناطق تخزين لمحطات المراقبة المتنقلة والمحمولة، مثل الكراجات أو الأماكن الدائمة لوقوف السيارات.

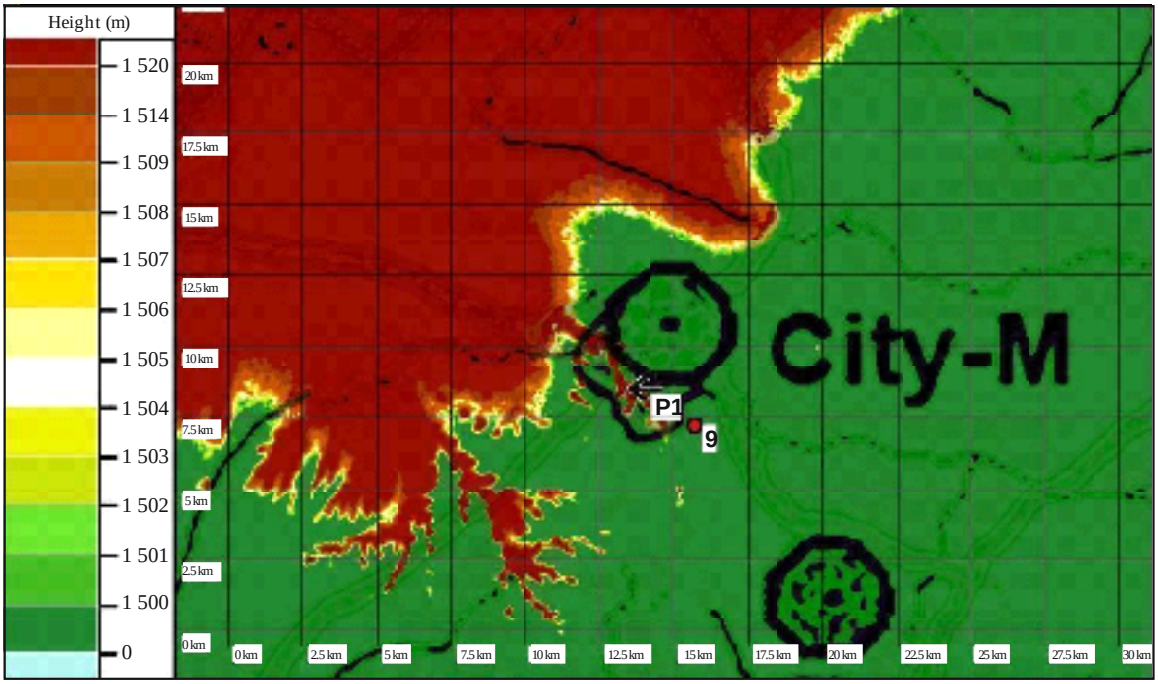
وينبغي ألاَّ تتجاوز مسافة التباعد بين المحطات المأهولة 600 km، على اعتبار أن من المتوقع من المحطات المتنقلة أن تخدم نقاطاً لا تبعد عن قواعدها أكثر من 300 km لخدمتها في يوم عمل واحد (إذا كانت الطرق جيدة طبعاً).

ومن الممكن الآن، حتى في مرحلة النمذجة الحاسوبية، استمثال معلمات المحطات والمواقع. إذ يمكن مثلاً إجراء حسابات متعاقبة للتأكد من مناطق تغطية المحطات بالمراقبة سواء إفرادياً أو جماعياً، ومن ثم استمثال ارتفاع الهوائيات الخاصة بها. وعندما تكون شبكة مراقبة الطيف أكثف، يمكن خفض ارتفاع هوائيات بعض المحطات من 30 متراً (التي استند إليها الحساب الأصلي) إلى 20 متراً، وفي بعض الحالات إلى 10 أمتار، مما يمكن الإدارة من تحقيق وفورات في تكلفة صواري الهوائيات. وفي حالة محطات أخرى، ورغبة في توسيع مناطق تغطيتها عندما يكون من الضروري القيام بذلك، يمكن زيادة ارتفاع الهوائي إلى 50 متراً، والذي يمكن أن يتحقق في كثير من الحالات على نحو أكثر فعالية بنقل الهوائي إلى أرض مرتفعة بدلاً من زيادة ارتفاع الصاري. وهذا يتطلب دراسة مفصلة للتضاريس حول الموقع المحدد مسبقاً من أجل استبانة المناطق المرتفعة المناسبة.

وكمثال على ذلك، يبين الشكل 16 رؤية مكبرة للتضاريس في جوار المحطة 9. وهو يبين بوضوح أنه عند النقطة P1، على بُعد ثلاثة كيلومترات فقط من موقع المحطة المحسوبة، هناك مساحة أرض مرتفعة تمتد نحو الشمال الغربي. والموقع P1 أعلى بحوالي 20 متراً من الموقع المحسوب للمحطة 9، ومن ثم فإن نقل المحطة 9 إلى الأرض المرتفعة سوف يوسع إلى حد كبير مناطق التغطية بالمراقبة حتى بخفض ارتفاع صاري الهوائي. ويبين الشكل 16 أن هناك عدداً من النقاط الأخرى المرتفعة غرب المحطة 9، ومن ثم العديد من السبل الممكنة لتوسيع منطقة التغطية بالمراقبة في المحطة بتغيير موقعها.

الشكل 16

التضاريس في جوار المحطة 9



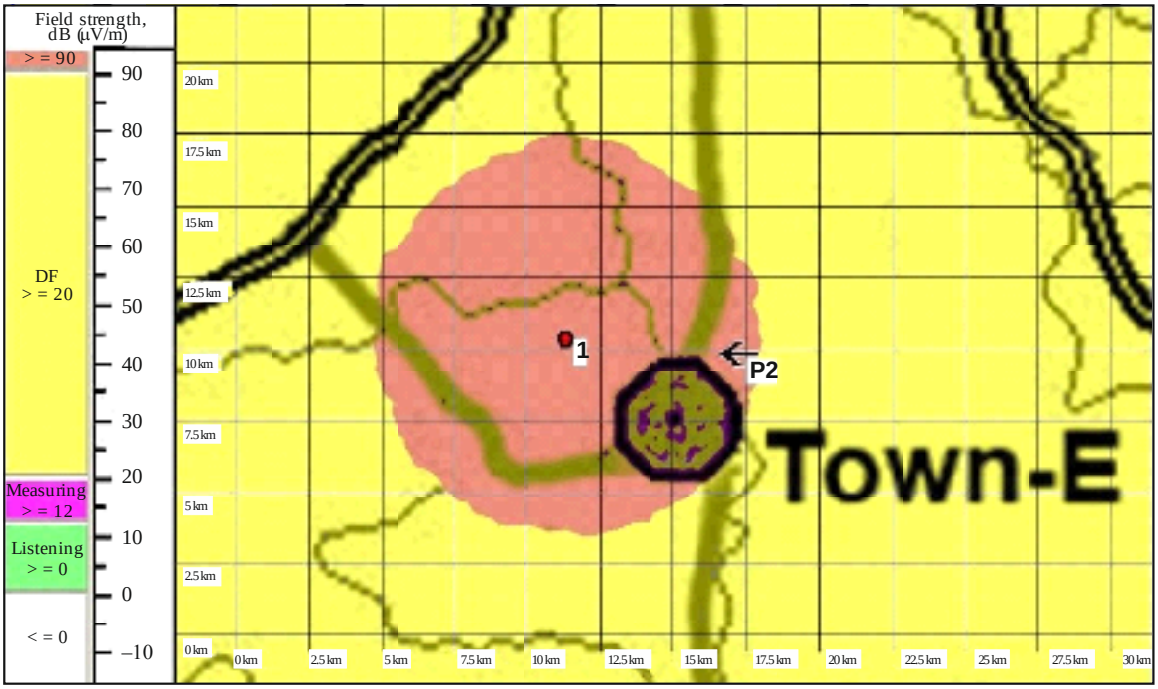
Report SM.2356-16

وبالإضافة إلى ذلك، وبالنظر إلى البيانات التي تجمع عن المنطقة المعنية (انظر الفقرة 2 أعلاه)، يمكن تفحص الموقع الممكن لكل محطة في النموذج والعمل على استمثاله فيما يتعلق بالحماية من التداخل والتأثيرات غير المرغوب فيها من المباني المجاورة وغيرها من المنشآت، وفقاً للتوصية ITU-R SM.575-2 والقسم 6.2 من كتيّب مراقبة الطيف (طبعة 2011).

على سبيل المثال، لننظر في حالة مرسِل راديوي بقدرة 500 واط يعمل بتردد 110 MHz، وارتفاع هوائي بمقدار 50 متراً، مقام وفقاً لسجل تخصيصات التردد الوطني في الموقع P2 في الشكل 17. فإذا حسبنا منطقة التغطية للمحطة 1 فيما يتعلق بمرسل اختبار بالمعلمات المعطاة، بشدة مجال على الحدود بقيمة 30 mV/m، أي 90 dB (μV/m)، عندئذ نجد أن المرسِل يقع داخل هذه المنطقة (الموضح باللون البني في الشكل 17). وهكذا فإنه يولِّد شدة مجال في موقع المحطة 1 تتجاوز المستوى المسموح به (انظر الفقرة 6.2 من كتيب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف، طبعة 2011). ومن أجل التغلب على هذه المشكلة، يجب أن تنقل المحطة 1 بما لا يقل عن 1,2 km نحو الغرب.

الشكل 17

منطقة حماية المحطة 1 من التداخل



Report SM.2356-17

وكذلك، يجب التحقق من مواقع المحطات الأخرى في النموذج للتأكد من أنها تقع خارج المسافات الدنيا المحددة من خطوط نقل الطاقة الكهربائية عالية التوتر وخطوط السكك الحديدية المكهربة، والصواري المعدنية العالية، وما إلى ذلك، استناداً إلى بيانات موثوقة عن هذه الملامح. وإذا لزم الأمر، يمكن نقل المحطات في النموذج إلى مواقع أخرى يتعين بعد ذلك أيضاً استمثالها على أساس حسابات مناطق التغطية بالمراقبة المقابلة، كما هو موضح أعلاه.

وتوفر نتيجة كل هذه العمليات نموذجاً حاسوبياً كاملاً لتشكيل شبكة مراقبة الطيف المخطط لها والذي ينبغي المضي في صقله من خلال مسوح المواقع في الميدان.

3.3 تفصيل مواقع المحطات في سياق مسح المواقع واقتناء الأراضي

يتعين مسح جميع مواقع محطات المراقبة المحتملة التي تحددها النمذجة بمساعدة الحاسوب بدقة متناهية لضمان توافقها مع معايير الحماية الواردة في التوصية ITU-R SM.575-2 والفقرة 6.2 من كتيب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011)، والتأكد من إمكانية تنفيذ أعمال البناء اللازمة لإنشاء البنية التحتية اللازمة. وفيما يتعلق بالبنية التحتية، فإن الاشتراط الأول هو التأكد من إمكانية ضمان إمدادات الطاقة الكهربائية وشق الطرق الموصلة إليها.

ويمكن، عند الضرورة القصوى، استخدام الطرق غير المعبدة ("الطرق الترابية")، من أجل الوصول إلى محطات المراقبة عن بُعد في الحاويات غير المأهولة. وبالنسبة للمحطات المأهولة، يحتاج الأمر إلى مساحة أرض أكبر وطرق معبدة، فضلاً عن توفر التيار الكهربائي والمياه والصرف الصحي. كما ينبغي مراعاة توفر أمن الموقع المادي، حتى بالنسبة للمواقع في الحاويات، على مدار الساعة، وفي هذه الحالة يجب الحفاظ على الحد الأدنى من البنية التحتية الحيوية.

وثمة منهجية ملائمة لمسوح المواقع ونتائج الإبلاغ موصوفة بالتفصيل في الملحق 1 من كتيب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011).

وقد تكشف عملية مسح المواقع عن أن أماكن المواقع المختارة في النموذج الحاسوبي لا يمكن، لأسباب شتى، استخدامها في الممارسة العملية. فهي قد لا تلبي مثلاً معايير الحماية من التداخل أو التأثيرات الخارجية، أو قد لا تكون صالحة للاستعمال نظراً لصعوبة توفير البنية التحتية اللازمة، وما إلى ذلك. ولكن المشكلة الأكثر شيوعاً، في معظم الحالات، هي بكل بساطة عدم وجود مواقع مناسبة للبيع. ويشار إلى الصعوبات الممكنة في العثور على المواقع المناسبة في التوصية ITU R SM.1392-2. وبطبيعة الحال تختلف درجة الصعوبة من بلد لآخر، تبعاً للظروف المعينة الاجتماعية والاقتصادية والتشريعات والأنظمة الإدارية، وما إلى ذلك.

ولهذا فإن عملية مسح المواقع قد تستبين مواقع محتملة أخرى متاحة وأكثر ملاءمة من الناحية العملية. وعندئذ يجب إجراء حسابات تدقيق لمناطق التغطية بالمراقبة من هذه المواقع. فقد يحتاج الأمر، من أجل الحفاظ على التغطية بالمراقبة المطلوبة في موقع جديد، زيادة ارتفاع الهوائي (على سبيل المثال). وعندئذ يجب على الإدارة أن تقرر ما إذا كانت تريد زيادة ارتفاع الهوائي، أم تقبل بتخفيض مساحة التغطية، أم تبحث عن موقع جديد كلياً.

وتبعاً لذلك فإن عملية مسح موقع معين ليست، في معظم الأحوال، إجراءً من خطوة واحدة وإنما يتعين أن تتكرر، وأحياناً عدة مرات. وهذا يستتبع أيضاً إجراء حسابات متكررة للتغطية بالمراقبة، تعتبر نتائجها حاسمة في اختيار أفضل المواقع.

وقد يكون من المستحيل العثور على مكان مناسب لإقامة محطة مراقبة جديدة بالقرب من الموقع المطلوب، حيث تكون مستويات التداخل دون الشروط المحددة في الفقرة 6.2 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011). وفي هذه الحالة، ينبغي النظر في المواقع التي تقلل من مستوى شدة مجال الإشارات المتداخلة (حتى لو كانت تزيد عن 90 dB (μV/m)) وتجنب استخدام عناصر الهوائي النشطة (انظر الفقرة 4.1.6.2 من الكتيّب).

ولا يمكن القول إن عملية التخطيط لشبكة مراقبة الطيف قد أُنجزت قبل الانتهاء من عمليات مسح المواقع خطوة خطوة وحساب التغطية واقتناء الموقع. عندئذ يمكن الدعوة لتقديم عطاءات لما يلزم من أعمال الهندسة المدنية وشراء معدات المراقبة، وفقاً للمبادئ التوجيهية الواردة في الملحق 1 لكتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011).

وحالما يتم التخطيط لشبكة مراقبة الطيف، يمكن إجراء الحسابات التفصيلية النهائية للتغطية بالمراقبة لمختلف الترددات (بالنظر إلى أن التغطية تميل إلى التدهور بتزايد الترددات) ولمرسِلات الاختبار العاملة في مستويات قدرة مختلفة وبارتفاعات هوائيات مختلفة. ويمكن أن تُستخدم هذه الحسابات لوضع "أطلس للتغطية بالمراقبة" لشبكات مراقبة الطيف SMN يكون بمثابة "بصمة تغطية" تقنية فريدة. وسوف يشير الأطلس بوضوح إلى المناطق التي تفتقر إلى التغطية في ظل ظروف ومعلمات محددة (من حيث التردد وقدرة مرسِل الاختبار وارتفاع الهوائي، وما إلى ذلك) تتطلب اهتماماً أكبر في التخطيط لتشغيل محطات المراقبة المتنقلة والمحمولة. وهذا يتسم بأهمية خاصة في المناطق الوعرة أو الجبلية.

وتساعد نتائج هذه الحسابات النهائية أيضاً على استمثال المزيج المؤلف من المحطات الثابتة والمحمولة والمتنقلة في شبكة مراقبة الطيف. وبصفة عامة، كلما ازداد عدد المواقع التي لا تخدمها محطات ثابتة، ازدادت الحاجة إلى المزيد من المحطات المحمولة والمتنقلة للحفاظ على الفعالية المطلوبة لشبكة المراقبة ككل. فقد يكون من الضروري، في مناطق الشبكة التي قد لا تشملها محطات ثابتة (على سبيل المثال، في الترددات الأعلى من مدى الموجات الديسيمترية UHF وفي المناطق المنخفضة)، تشغيل محطات محمولة من أجل القيام بحملات القياس المختلفة. ويمكن أيضاً تحديد المواقع المثلى لهذه المحطات المحمولة مسبقاً بإجراء الحسابات ذات الصلة. وبالإضافة إلى ذلك، يتعين السماح بفترات زمنية أطول لتشغيل المحطات المتنقلة في هذه المناطق غير المغطاة.

4.3 التخطيط لشبكات مراقبة الطيف الصغيرة والمحلية الخاصة

1.4.3 التخطيط لشبكات مراقبة الطيف الصغيرة ولشبكات المراقبة في المدن الكبرى

نظرنا في عملية التخطيط لشبكات لمراقبة الطيف إقليمية كبيرة إلى حد ما وفي استمثالها. أما إذا كنا، من ناحية أخرى، بحاجة إلى التخطيط لشبكة مراقبة صغيرة معزولة تتكون من محطتين أو عدة محطات (لا تزيد عن خمسة) أو إلى استمثالها، فمن الممكن تبسيط الإجراء إلى حد كبير. وفي هذه الحالة، يمكننا أن نبدأ بتحديد مواقع المحطات الافتراضية في النموذج الحاسوبي في مواقع مناسبة دون

تصميم شبكة عادية ومن ثم استمثال الشبكة الناتجة بدءاً من المرحلة الموصوفة في البند 3.2.2.3 أعلاه. ويرد في الملحق 1 مثال لإجراءات التخطيط العملية لشبكات المراقبة المحلية في تضاريس سهلية نسبياً.

وفي المدن الكبيرة، يكون تحديد الاتجاه معقداً إلى حد كبير نتيجة الانعكاسات المتعددة. ورغبةً في تحسين موثوقية تحديد الاتجاه، ومن ثم الموقع، وتمكين مراقبة عدد كبير من المرسِلات ومصادر البث الأخرى، تكون مواقع المحطات الثابتة في المدن الكبرى متقاربة عادةً أكثر مما هي عليه في المناطق الريفية. ولهذا، وفي معرض التخطيط لشبكات مراقبة كبيرة جديدة أو في استمثال الشبكات المماثلة القائمة في المدن الكبيرة، فإن الخطوة الموصوفة في البند 2.2.2.3 يمكن أن تبدأ بتغطية أراضي المدينة بشبكة عادية ثالثية بتباعد 15 km بين المحطات، أو حتى بشبكة من الرتبة الرابعة بتباعد 7,5 km بين المحطات (انظر الفقرة 8.6 من كُتيِّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف، طبعة 2011).

ويرد وصف الطريقة البديلة للتخطيط لشبكات مراقبة الطيف المحلية الصغيرة والخاصة في الفقرة 6 أدناه. وعلى النقيض من الطريقة المتبعة في شبكة عادية، قد يتطلب الأمر إجراء قدر كبير من العمليات الحسابية، ولذلك يُوصى باتباع هذه الطريقة لتخطيط شبكات المراقبة الصغيرة نسبياً.

2.4.3 التخطيط لشبكة مراقبة الطيف في المناطق الجبلية والتلال

من الممكن، في المناطق الجبلية والتلال، تحقيق زيادة كبيرة في التغطية بالمراقبة وذلك بتحديد مواقع هوائيات المحطات الثابتة على ارتفاعات عالية. وفي الوقت ذاته، قد تكون التغطية بالمراقبة في هذه الحالات أكثر حساسية بكثير لاختيار مواقع معينة. وينبغي أيضاً أن يؤخذ في الحسبان زيادة احتمال تأثير انعكاس الإشارات.

وتُبحث كل هذه المسائل بالتفصيل في الملحق 2.

4 التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بقياس تفاوت أزمنة الوصول واستمثالها

جرى في الآونة الأخيرة تطوير طريقة التخطيط للتغطية الشاملة لمنطقة واسعة بواسطة محطات قياس تفاوت أزمنة الوصول (على غرار الطريقة المتبعة في الشبكة العادية لتخطيط محطات قياس زوايا الوصول على النحو الوارد في الفقرة 3 أعلاه). ويرد بعض الاقتراحات الإضافية في هذا الشأن في الفقرة 2.3.7.4 من كُتيِّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011) وفي التقرير ITU-R SM.2211-1.

1.4 المبادئ الأساسية

يصف القسم 2.2.2.3 أساليب ومبادئ تحديد مواقع محطات المراقبة القائمة على قياس زوايا الوصول. ويمكن استخدام نهج مماثل لتحديد مواقع مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول. وإن إنشاء شبكة من محطات قياس تفاوت أزمنة الوصول في الشبكات الأولية والثانوية، وعند الضرورة، في شبكات المستوى الثالث، يُعد وسيلة فعالة لتحقيق التغطية المثلى للترددات الراديوية ودقة تحديد موقع المرسل في المناطق التي تسترعي الاهتمام.

وبعد، فإن الفارق الأساسي في تخطيط شبكات قياس تفاوت أزمنة الوصول يكمن في العلاقة بين مدى كشف الترددات الراديوية ومنطقة تغطية تحديد الموقع الجغرافي المقابلة. وسيأتي بحث ذلك بالتفصيل. وتوخياً للاتساق، يُفترض استحسان التغطية الشاملة للمنطقة.

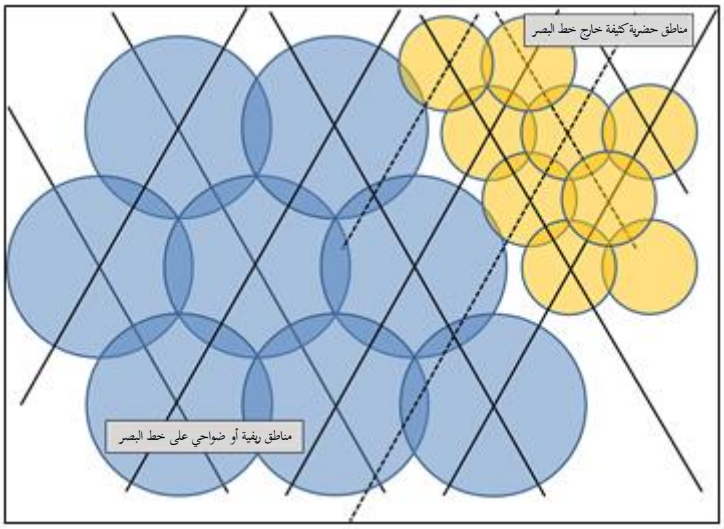
1.1.4 مدى كشف الترددات الراديوية لمحطات مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول

في شبكة مراقبة الطيف القائمة على قياس تفاوت أزمنة الوصول، يُستخدم مدى كشف الترددات الراديوية لتحديد مسافة الفصل بين العُقد الأولية والعُقد الثانوية والعُقد من المستوى الثالث في شبكة المراقبة. وفي المناطق الريفية أو مناطق الضواحي على خط البصر (LOS)، يمكن أن يكون الفصل بين المحطات أكبر. وفي بيئة الضواحي أو البيئات الحضرية الكثيفة، يجب أن يكون الفصل

أقل لتحقيق تغطية الترددات الراديوية. وتصح هذه المبادئ في تكنولوجيتي قياس زوايا الوصول وقياس تفاوت أزمنة الوصول على السواء. ويبيَّن ذلك بشكل مفاهيمي في الشكل 18.

الشكل 18

مدى كشف الترددات الراديوية في الشبكات الأولية والثانوية العادية



وينشئ تراكب مديات كشف الترددات الراديوية لمحطات المراقبة تغطية شاملة لوظائف الاستماع وخصائص البث على النحو المشار إليه في الفقرة 1.3 من هذا التقرير.

2.1.4 منطقة تغطية تحديد الموقع الجغرافي في شبكات مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول

في شبكات قياس تفاوت أزمنة الوصول، يمكن أن تتباعد المحطات بطريقة تقلل إلى أدنى حد من التراكب في مدى كشف الترددات الراديوية، وتظل تحافظ على منطقة تغطية كبيرة لتحديد الموقع الجغرافي تمتد إلى محطات المراقبة المجاورة، وإلى أبعد من ذلك في كثير من الحالات. ويرجع ذلك إلى كسب التلازم المتقاطع عبر محطات قياس تفاوت أزمنة الوصول المنفصلة مكانياً. ويرتبط الكسب بجداء وقت تحصيل الإشارة (t) وعرض النطاق (B)، أو جداء عرض النطاق والوقت. والصيغة الرياضية هي:

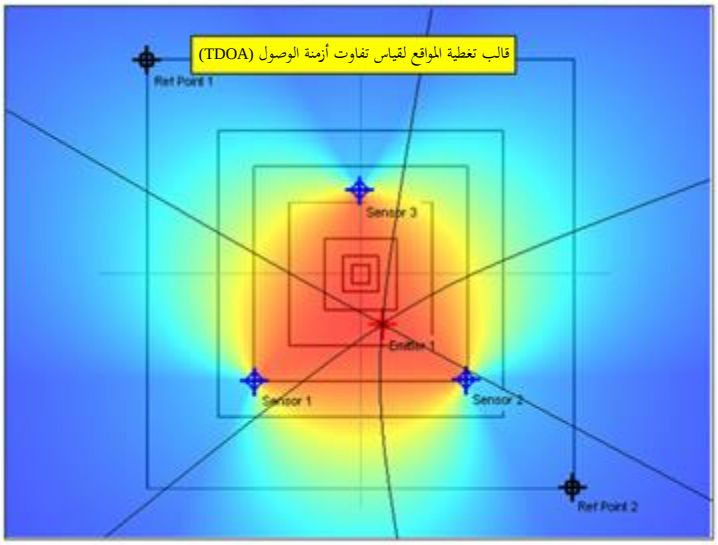
$$10 \log_{10}(t \times B)$$

والوحدات هي بالديسيبل (dB). ويمكن لكسب المعالجة هذا أن يوسع منطقة تغطية تحديد الموقع الجغرافي توسعة فعالة في شبكات قياس تفاوت أزمنة الوصول إلى ما يتجاوز حد مدى كشف الترددات الراديوية لكل محطة مراقبة.

ونموذج تغطية تحديد الموقع لشبكة من ثلاثة أجهزة استشعار على النحو المحدد في الفقرة 1.3 والموضح في الشكل 4، سيُعرِّفه التمييع الهندسي لدقة الشبكة، على أفضل وجه، وسيمثل بقدر أوثق حدود محطات المراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول على النحو المبين في الشكل 19.

الشكل 19

قالب تغطية المواقع (LCT) لشبكة قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA)
يشبه التمييع الهندسي للدقة (GDOP)



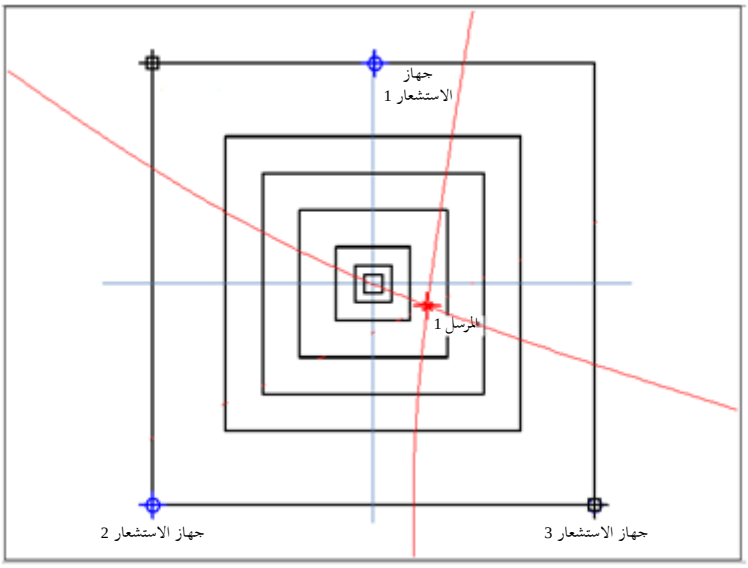
يزداد كسب التلازم بازدياد عرض نطاق الإشارة وهو أمر مفيد للغاية في الأماكن الحضرية حيث تكون خسارة المسير أكبر. ولكن من الناحية العملية، يتعذر اغتنام كسب التلازم تماماً حيث ينبغي أن تكون محطة واحدة على الأقل ضمن مدى كشف الترددات الراديوية للإشارة من أجل توصيف الإشارة وتمكين تلازم أفضل مع المحطات الأخرى. ويمكن أيضاً لإطالة وقت تحصيل IQ أن يزيد كسب التلازم إذا بقيت قناة الانتشار بين المرسل ومحطات المراقبة متماسكة طوال مدة التحصيل. بيد أن القنوات لن تبقى متماسكة لفترة طويلة في البيئات الحضرية الدينامية. ولهذا السبب، لا يمكن الاعتماد دائماً في مثل هذه البيئات على إطالة وقت تحصيل IQ لتوسعة منطقة تغطية تحديد الموقع الجغرافي في شبكات قياس تفاوت أزمنة الوصول.

3.1.4 التخطيط لقياسات تحديد الموقع عالية الجودة

كما سبق الذكر، تعمل شبكات قياس تفاوت أزمنة الوصول على أساس تلازم بيانات سلسلة IQ بين أزواج محطات المراقبة. وفي شبكة من ثلاث محطات قياس تفاوت أزمنة الوصول، ستكون هناك ثلاثة أزواج تلازم. ويجب أن يتلازم زوجان من المحطات على الأقل لتحديد موقع المرسل. وترد محاكاة ذلك مفاهيمياً في الشكل 20. ففي هذا المثال، يتلازم جهازا الاستشعار 1 و2 لإنتاج خط قريب من خط القطع الزائد الأفقي (يشار إليهما أيضاً باسم المتزامنين). ويتلازم جهازا الاستشعار 2 و3 أيضاً لإنتاج خط قريب من الخط الأحمر. ولا يتلازم جهازا الاستشعار 1 و3 وبالتالي فهما لا ينتجان متزامنين.

الشكل 20

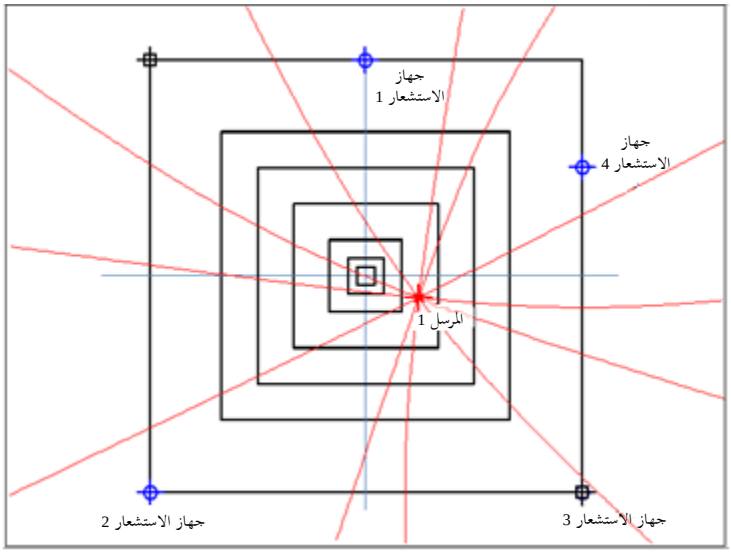
تحديد موقع المرسل بواسطة زوجين فقط في شبكة قياس تفاوت أزمنة الوصول ذات ثلاث محطات



وتؤدي إضافة محطة قياس تفاوت أزمنة الوصول رابعة إلى مضاعفة عدد أزواج التلازم المحتملة إلى ستة وتزيد إلى حد كبير من فرصة التقدير الدقيق لموقع المرسل على النحو الموضح في الشكل 21. وتُرسم جميع أزواج التلازمات الستة الممكنة، ولكن لن يلزم سوى اثنين من الستة لتقدير الموقع.

الشكل 21

تحديد موقع مرسل بواسطة ستة أزواج تلازم في شبكة قياس تفاوت أزمنة الوصول ذات أربع محطات



2.4 تخطيط شبكات مراقبة الطيف لقياس تفاوت أزمنة الوصول في مركز حضري

تمثل البيئات الحضرية أكبر تحد لتخطيط شبكات مراقبة الطيف (SMN) على النحو الأمثل للحصول على التغطية الجيدة للترددات الراديوية وموقع الإرسال الصحيح. وتتسم المدن بدينامية عالية بعاكسات متحركة مثل الحافلات والسيارات وعربات الترولي

والطائرات. وتعمل المباني الشاهقة كعاكسات ساكنة مجاورة تخلق بيئة صعبة متعددة المسيرات للترددات الراديوية. أما الطرق والشوارع فهي تخترق المدن في أنماط مختلفة على أساس المفاهيم التي يستخدمها مخططو المدن – وبفعل التوسع والتحديث.

ويقدم هذا القسم النُّهُج الأساسية لتخطيط شبكات فعالة من مواقع مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول في البيئات الحضرية. ولن تغني هذه المبادئ التوجيهية عن الحاجة إلى الشروط العادية التي تدخل في اختيار الموقع؛ بل تهدف إلى تقديم نهج أولي لتخطيط هندسة الشبكة. وهي تكمل المبادئ التوجيهية الواردة في الملحق 1 بالتقرير ITU-R SM.2211.

1.2.4 استخدام خطوط البصر

تستفيد شبكات المراقبة الحضرية الفعالة من الشبكة الطبيعية التي ينشئها نظام الطرق والشوارع في المدينة. إذ تنشئ الجادات الواسعة والشوارع الرئيسية خطوط بصر لتنتشر عبرها طاقة الترددات الراديوية.

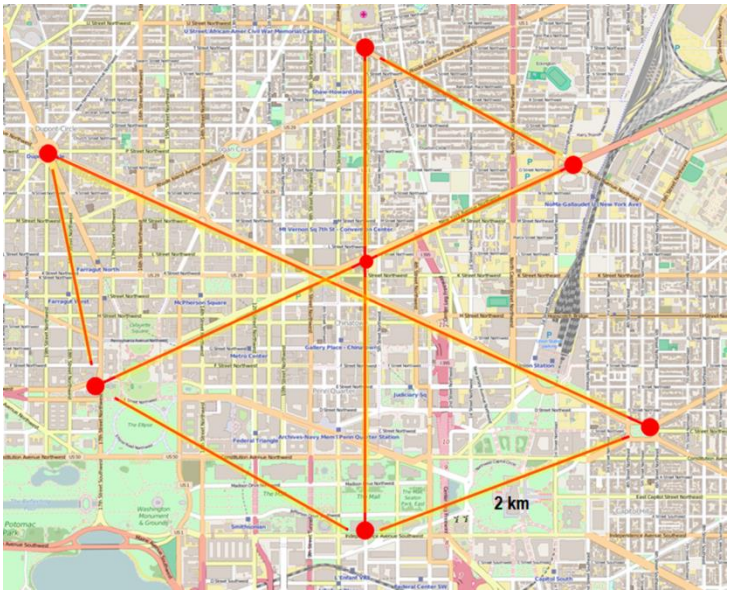
"وضمن المناطق العمرانية، فإن مؤثرات التظليل للمباني ومؤثرات قنوات الموجات الراديوية على طول الشوارع تصعِّب التنبؤ بمتوسط شدة الإشارة. وفي كثير من الأحيان لا تكون أقوى المسيرات أكثرها وضوحاً أو مباشرةً، وكثيراً ما تتجاوز شدة الإشارة في الشوارع الشعاعية أو القريبة من الشعاعية بالنسبة إلى اتجاه محطة القاعدة شدة الإشارة في الشوارع المحيطية [6]".

ويمكن استخدام ذلك كمبدأ توجيهي في تخطيط شبكة مراقبة فعالة في البيئات الحضرية. إذ تميل شوارع المدينة إلى اتباع أحد الأنماط العديدة التي يمكن استخدامها لإعداد مواقع محتملة لمواضع المراقبة. وتستند الأنماط المختلفة المبينة في الشكلين 30 و31 إلى خطوط البصر المتاحة في خطط المدن المختلفة.

وفي الشكل 22، نمط الشارع هو عبارة عن شبكة متعامدة ثانوية مرتسمة على شبكة قطرية رئيسية. ويمكن أن يقدم جوار تقاطعات الشبكة القطرية مواقع محتملة جيدة لمحطات المراقبة (على النحو الموضح في الدوائر الحمراء). ويقدم النمط الهندسي لهذه المدينة نموذجاً لتحديد موقع مواضع المراقبة الثانوية والمراقبة على المستوى الثالث التي تتبع نمطاً مواتياً لتحديد موقع المرسل باستخدام خوارزميات TDOA وRSS و(TDOA/RSS) الهجينة.

الشكل 22

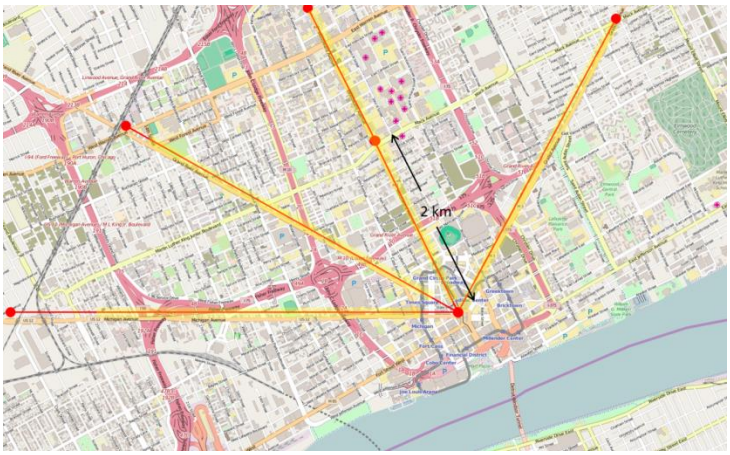
خطوط الموقع القطرية في مركز حضري



وفي الشكل 23، تظهر مدينة ذات نمط هندسي مختلف يمثل شبكة متعامدة ثانوية ترتسم عليها شبكة رئيسية كبيرة. وتشع خطوط الموقع الرئيسية في هذه الحالة من مركز حضري نحو الخارج صوب مناطق أقرب إلى الضواحي على نحو متزايد وذات خطوط سقوف منخفضة تسمح بمباعدة أكبر بين مواقع مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA).

الشكل 23

خطوط الموقع الشعاعية في مركز حضري



2.2.4 مسافة الفصل بين محطات المراقبة

يجب أن يضع مخطط النظام عدة أهداف للتصميم تتعلق بمسافة الفصل فيما يخص تموضع شبكة مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول لمركز حضري. وترد اعتبارات إضافية تتعلق بأداء المستقبِل في الملحق 3.

- ستؤثر مسافة الفصل على تراكب منطقة التغطية لفئات مختلفة من المرسلات. وتُعد خسارات المسير في البيئات الحضرية أكبر بكثير مما هي عليه في البيئات الأخرى التي يتوقع فيها وجود خط بصر.
- وفي تحديد موقع إشارات النطاق الضيق، قد لا يكون للمحطات المغالية في القرب من بعضها البعض خط أساس مناسب لتحديد تفاوت زمن الوصول. وقد يمنع الجمع بين أخطاء التوقيت ومؤثرات تعدد المسيرات تلازم زوجاً من مستشعرات قياس تفاوت أزمنة الوصول.
- ومع امتداد شبكة المراقبة من البيئة الحضرية الكثيفة إلى مناطق الضواحي أو المناطق الصناعية المحيطة، تمكن زيادة مسافات الفصل لأن خط البصر وارتفاع الهوائي سيؤديان إلى زيادة مدى كشف الترددات الراديوية لكل محطة.

3.4 تخطيط شبكات مراقبة قياس تفاوت أزمنة الوصول للمناطق الريفية الكبيرة

في المناطق الريفية، ينبغي تطبيق الشبكات النظامية الأولية والثانوية باستخدام المبادئ التوجيهية الموصوفة في الفقرة 1.3. وينبغي تحديد مسافات الفصل وفق المبادئ الموضحة في هذا القسم.

5 تخطيط شبكات المراقبة الهجينة

يستند تخطيط شبكات المراقبة الهجينة (AOA/TDOA) إلى نفس المبادئ والمسائل التي جاء وصفها في القسمين 3 و4 أعلاه لشبكات قياس زوايا الوصول (AOA) وقياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA). ويمكن الحصول على فوائد كبيرة باستخدام شبكات المراقبة الراديوية ونظم تحديد الاتجاه وتفاوت أزمنة الوصول القادرة على استخدام التقنيات الهجينة في المعدات التي تلبي أو تتجاوز توصيات الاتحاد بشأن حساسية النظام واستقراره ودقته. ومقارنة بالشبكات القائمة على تقنيات AOA وحدها أو تقنيات TDOA

وحدها، فإن الشبكات الهجينة AOA/TDOA تسمح، من الناحية النظرية، بتغطية مساحة أكبر موضع الاهتمام باستخدام عدد أقل من المحطات، وتسمح في الوقت نفسه بتوفير دقة متزايدة في تحديد الموقع الجغرافي، داخل المنطقة التي تحيط بها محطات مراقبة الطيف وخارجها.

1.5 مقارنات طرائق تحديد الموقع الجغرافي

من المهم أن نفهم نقاط القوة ونقاط الضعف في مختلف طرائق تحديد الموقع الجغرافي، وذلك رغبة في اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الطرائق الأكثر ملاءمة لمتطلبات تغطية معينة. وثمة مقارنة مفصلة للطرائق AOA وTDOA وAOA/TDOA الهجينة لتحديد الموقع الجغرافي واردة في التقرير ITU-R SM.2211-1. ويضم هذا التقرير جدولاً يلخص الخصائص الرئيسية لطرائق تحديد الموقع الجغرافي الثلاث.

2.5 محاكاة تغطية تحديد الموقع الجغرافي ودقتها

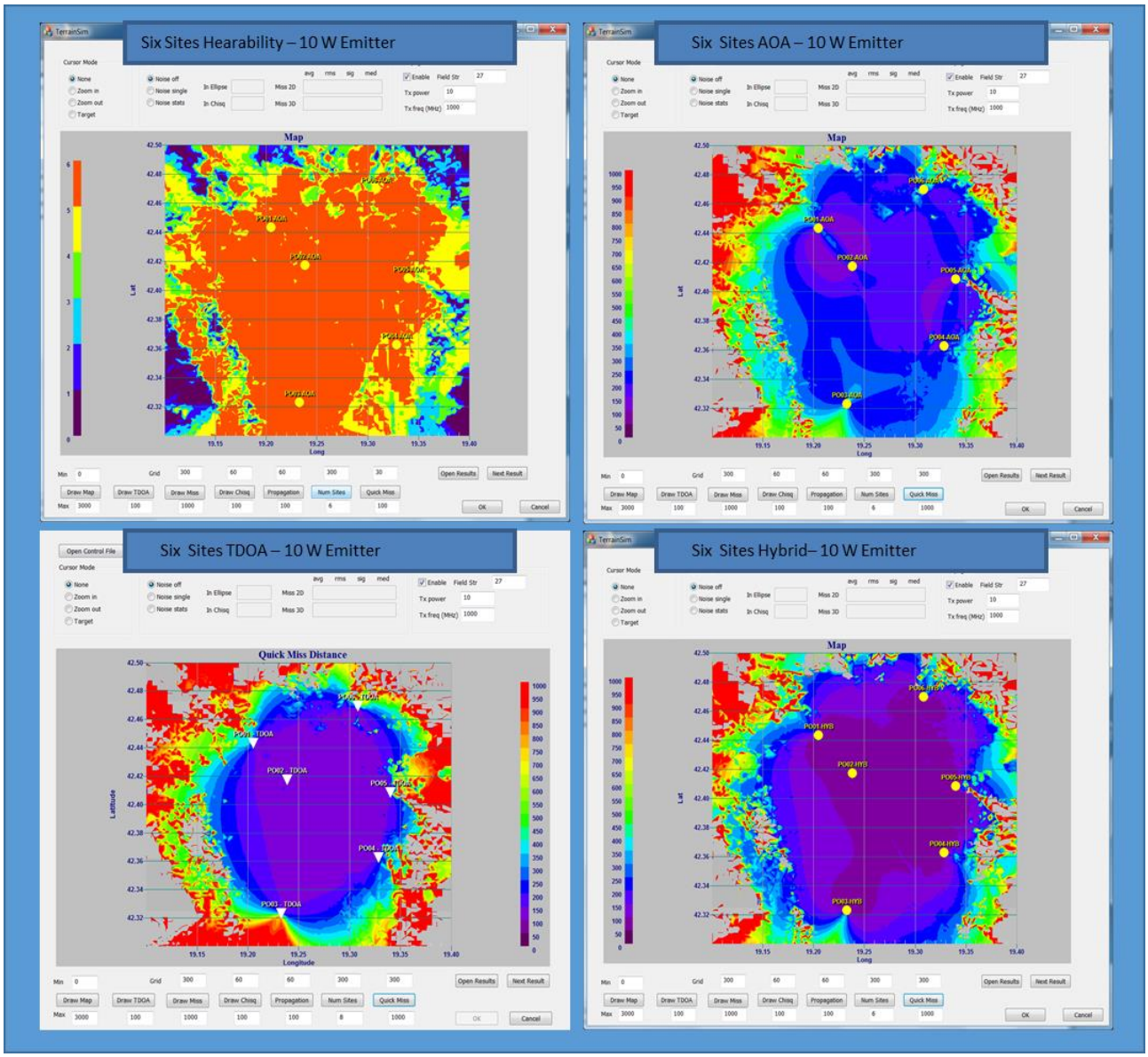
جرت محاكاة مختلف تشكيلات نظم مراقبة الطيف (SMS)، بما في ذلك طرائق AOA وTDOA وAOA/TDOA الهجينة، ومقارنتها من حيث تغطية تحديد الموقع الجغرافي ودقتها.[2] وقد أُجري التحليل باستخدام أداة برمجية تجمع ما بين حساب تحديد الموقع الجغرافي ومدى إمكانية سماع الإشارة الهدف في محطات مختلفة قيد النظر، استناداً إلى قدرة جهاز الإرسال وآثار انتشار الإشارات في التضاريس الثلاثية الأبعاد. وتم تقييم دقة تحديد الموقع الجغرافي على أساس مسافة الخطأ. وقد أُجري التحليل في ظل مجموعة من الشروط، مثل عدد المحطات المشاركة في شبكة مراقبة الطيف، وتراوح قدرة الإرسال بين 1 واط و100 واط، وظروف انتشار مختلفة وتقنيات مختلفة لتحديد الموقع الجغرافي. وتشمل الافتراضات بشأن منطقة التغطية مدى التغطية المطلوبة سواء داخل المنطقة التي تحيط بها المحطات أو خارجها.

وبناءً على محاكاة متطلبات التغطية وشروط التشغيل (الواردة في التقرير ITU-R SM.2211-1)، يوفر استخدام تقنيات AOA/TDOA الهجينة دقة أفضل عبر مساحة تغطية أكبر لكل من حالتي المحطات الثلاث والأربع. ويتضح في الشكل 24 حالة أخرى، بست محطات ذات مرسل قدرته 10 واط. فالنظام المؤلف من محطات AOA يغطي المنطقة بخط الاهتمام بأسرها، تضعف بالنسبة للمرسلات البعيدة. ويوفر النظام المؤلف من محطات TDOA دقة جيدة في المنطقة ضمن مواقع المحطات TDOA، ولكن دقة تحديد الموقع الجغرافي تضعف بسرعة خارج هذه المنطقة. وفي مثال المحاكاة، من شأن الشبكة AOA/TDOA الهجينة أن تستغل مزايا تغطية مساحة أوسع من محطات قياس زوايا الوصول (لعدد معين من المحطات) إلى جانب مزايا المعدات/الهوائيات الأقل تعقيداً في محطات قياس تفاوت أزمنة الوصول.

[2] نموذج الانتشار المستخدم لهذه المحاكاة هو TIREM – نموذج الأرض الوعرة المدمج للانتشار (انظر كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن الإدارة الوطنية للطيف).

الشكل 24

مثال تغطية المحطات الستّ، يُظهِر إمكانية سماع 10 واط وتغطية أنظمة قياس زوايا الوصول (AOA) وقياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) والأنظمة الهجينة



3.5 ملخص أداء النظام الهجين

من المتوقع أن يتطلّب الحل القائم على تحديد الموقع الجغرافي (AOA/TDOA) الهجين عدداً أقل من المحطات مما يتطلبه تحديد الموقع الجغرافي بطريقة TDOA لتحقيق نفس التغطية أو تغطية أفضل ونفس الدقة أو دقة أفضل لكثير من المتطلبات الشائعة لتغطية مساحة واسعة. والحل الهجين يجمع ما بين فوائد نظم AOA (أداء أفضل في إشارات النطاق الضيق وتغطية مساحة واسعة، وما إلى ذلك) وفوائد نظم TDOA (متطلبات تركيب وهوائيات أبسط ونبذ الضوضاء غير المترابطة، وما إلى ذلك).[3] لذلك، وفي بعض الحالات، يمكن أن توفر شبكة AOA/TDOA هجينة تكلفة تركيب أقل وتكلفة متكررة أقل لمساحة تغطية معينة طوال عمر الشبكة.

3 ثمة وصف أكمل لهذا النظام في الفقرة 3 من التقرير ITU-R SM.2211-1.

6 الطريقة المعمّمة للتخطيط لشبكات مراقبة الطيف المحلية الصغيرة والخاصة

لدى التخطيط لشبكة من محطات المراقبة، ينبغي في المقام الأول أن نقرر ما هي المهام التي تتولاها هذه الشبكة. إذ تكفي، في بعض الحالات، محطة مراقبة واحدة للتنصت و/أو قياس خصائص الإشارات الراديوية، خلافاً لما هو الحال في شبكة قياس زوايا الوصول (الحد الأدنى – محطتان) أو شبكة قياس تفاوت أزمنة الوصول (الحد الأدنى – 3 محطات). وتحدد منطقة التغطية بمحطات المراقبة في كل من هذه الحالات بحكم قيمة الحد الأدنى المطلوب من شدة المجال.

لذلك، على افتراض أنه يتعين على شبكة مراقبة الطيف في المستقبِل أن تقوم بعدة مهام، فإن تخطيط الشبكة ينبغي أن يبدأ بتنفيذ المهمة التي تتطلب القدر الأعلى من الحد الأدنى المطلوب لشدة المجال، وبعد ذلك، بالترتيب التنازلي:

1) تحديد الاتجاه وتقدير موقع جهاز الإرسال (20 dB(μV/m)) وفقاً لكتيّب الاتحاد بشأن مراقبة الطيف)؛

2) قياس معلمات الإشارات الراديوية (12 dB(μV/m)) وفقاً لكتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف)؛

3) طيف التنصت (0 dB(μV/m)) وفقاً لكتيّب الاتحاد بشأن مراقبة الطيف).

ويسمح تسلسل هذه الإجراءات بتغطية منطقة المسح باستخدام أقل عدد من محطات المراقبة ويحول دون تكبد خسائر مالية لا داعي لها.

وينبغي، في المرحلة التحضيرية، البت في جميع القرارات المشار إليها في الفقرة 2 أعلاه، بما في ذلك تحديد المنطقة التي يتعين مراقبتها، واختيار طريقة لحساب انتشار الموجات الراديوية، وتحديد القيمة القصوى الممكنة لعدم التيقن من موقع المرسِل (للتخطيط الهجين AOA/TDOA)، وحساب قيمة الحدود لشدة المجال الدنيا، وتحديد المناطق التي لا يُنصح بوضع محطات مراقبة فيها، وما إلى ذلك.

وتُستخدم المصطلحات والتعاريف التالية في الطريقة الموصوفة أدناه:

"**وصلة AOA**" – محطتان للمراقبة يمكن استخدامهما لتحديد موقع مرسِل بقدر مسبق التحديد من عدم التيقن في شبكات مراقبة الطيف SMN بطريقة قياس زوايا الوصول AOA.

"**وصلة TDOA**" – ثلاث محطات للمراقبة يمكن استخدامها لتحديد موقع مرسِل بقدر مسبق التحديد من عدم التيقن في شبكات مراقبة الطيف SMN بطريقة قياس تفاوت أزمنة الوصول TDOA.

مرسِل اختبار "مغطى" – مرسِل اختبار تكون فيه شدة المجال في موقع محطة المراقبة أكبر من قيمة العتبة (الحد الأدنى المطلوب لشدة المجال) ولا يتجاوز خطأ تحديد الموقع فيه (موقع المرسِل الذي تتبيّنه محطات المراقبة الهجينة AOA/TDOA) قيمة محددة مسبقاً من مقدار الحد الأقصى من عدم التيقن من الموقع.

تصنيف الموقع لمحطة المراقبة – عدد مرسِلات الاختبار الواقعة في منطقة الدراسة التي يمكن تغطيتها بمحطة المراقبة المقامة ضمن هذا الموقع.

تصنيف "وصلة AOA" – عدد مرسِلات الاختبار الواقعة في منطقة الدراسة التي يمكن أن تغطيها "وصلة AOA".

تصنيف "وصلة TDOA" – عدد مرسِلات الاختبار الواقعة في منطقة الدراسة التي يمكن أن تغطيها "وصلة TDOA".

1.6 نمذجة شبكات مراقبة الطيف المحلية الصغيرة والخاصة بمساعدة الحاسوب

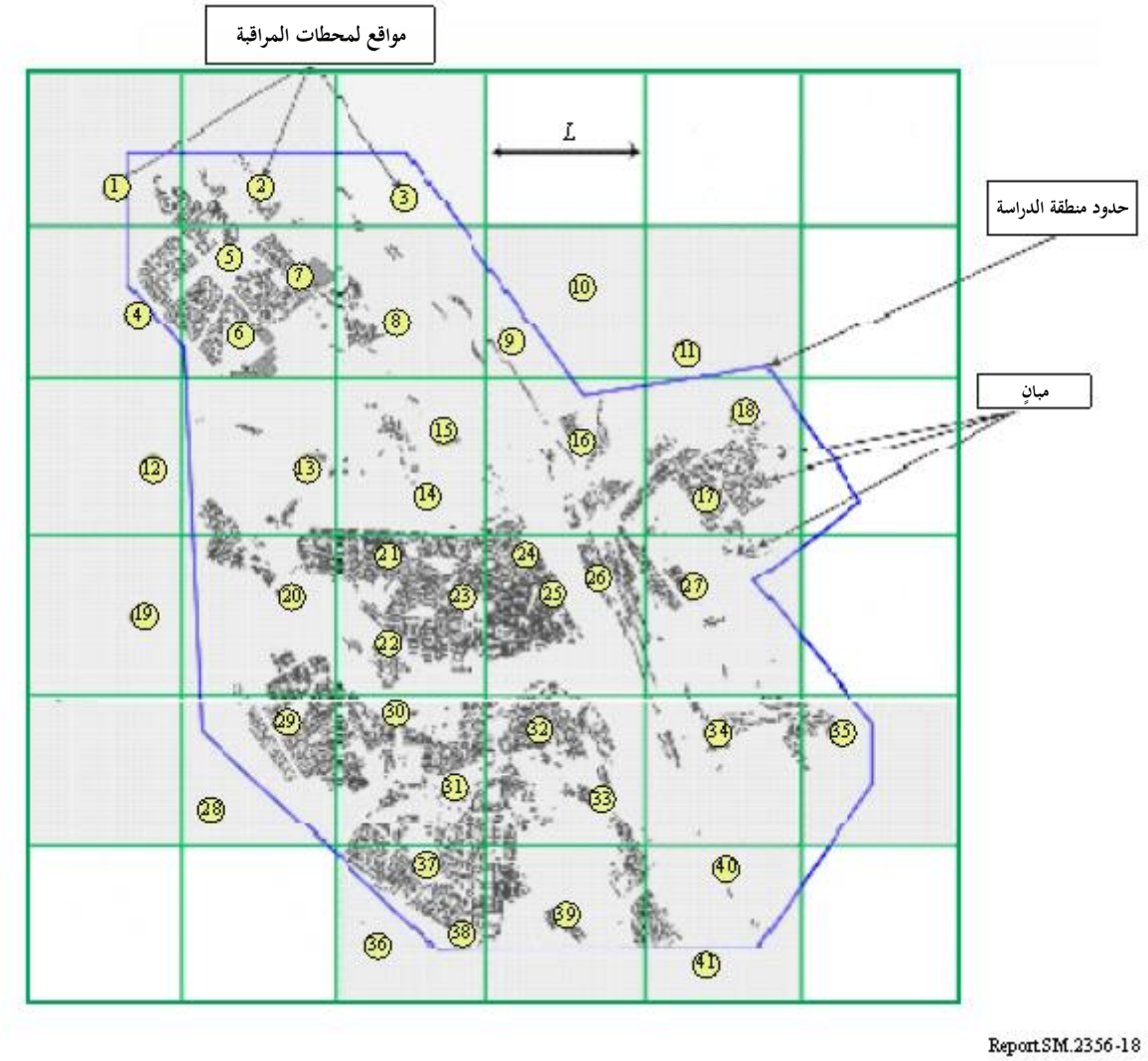
الخطوة 1: اختيار المواقع الممكنة لمحطات المراقبة الراديوية

بعد تحديد المنطقة التي يتعين مراقبتها، يجري اختيار المواقع المقبلة لمحطات المراقبة الراديوية. ولهذا الغرض تستخدم شبكة تتألف من خطى L = 0,5…5 km بحيث تغطي منطقة الدراسة وكذلك المناطق المجاورة. وكلما كانت خطوة الشبكة أصغر كان ذلك أفضل، ولكن ذلك يتوقف إلى حد كبير على الموارد الحاسوبية المتاحة.

ثم يتم في كل خلية من الشبكة اختيار موقع واحد على الأقل يُحتمل أن يستخدم لإقامة محطة المراقبة الراديوية (ويمكن اختيار عدة مواقع في بعض الخلايا). فقد يكون في المناطق الحضرية مثلاً فوق سطح بناية عالية، ولكن في المناطق الريفية يمكن أن يكون في مكان مرتفع بالقرب من الطريق أو المكان الذي تتوفر فيه البنية التحتية اللازمة (الشكل 25).

الشكل 25

اختيار المواقع الممكنة لمحطات المراقبة الراديوية



الخطوة 2: تَوضُّع "الشبكة الحاسوبية"

تُقام "الشبكة الحاسوبية" ضمن حدود المنطقة التي ينبغي أن تشملها المراقبة الراديوية. ويجب ألاَّ تكون خطوة "الشبكة الحاسوبية" كبيرة بالمقارنة مع أشياء خارجية أخرى. مثال ذلك، ولتخطيط شبكات مراقبة الطيف في المناطق الحضرية، يمكن أن تكون خطوة "الشبكة الحاسوبية" مساوية لمقدار 5 ... 50 متراً. وتوضع مرسِلات الاختبار في عقد هذه الشبكة. ويجب أن تتوافق القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) ومتوسط الارتفاع وغير ذلك من خصائص مرسِلات الاختبار مع خصائص المحطات الراديوية الفعلية، والتي من المفترض أن تكون رهن السيطرة (الشكل 26).

الشكل 26

تَوضُّع "الشبكة الحاسوبية" (في حالة المرسِلات خارج المباني)

الخطوة 3: إجراء الحسابات

يجري حساب مساحة الخدمة لجميع المواقع المختارة. وإذا كانت منطقة الدراسة تغطيها جزئياً شبكة مراقبة قائمة من المزمع أن يُرتقى بها، عندئذ تجري كل الحسابات الأخرى بمراعاة تغطية هذه المحطات مع خصائص ارتقائها. وتُحدد منطقة التغطية لكل محطة مراقبة بالشروط التالية:

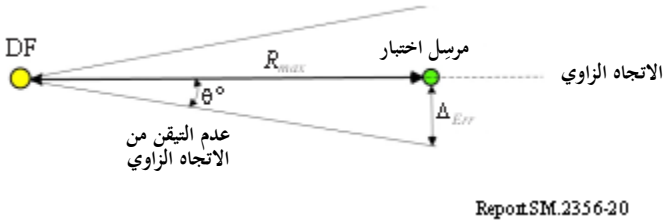
– تُحدد المسافة القصوى (R_{max_loc}) من كل محطة مراقبة إلى مرسِل اختبار ما بالصيغة التالية (فقط لتخطيط شبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول AOA، انظر الشكل 27):

R_{max} = أقصى قدر من عدم التيقن من الموقع (Δ_{Err}) مقسوماً على التماس (عدم التيقن بشأن الاتجاه الزاوي ($\theta°$))؛

– يجب أن تكون شدة المجال المحسوبة في مواقع مختارة من محطات المراقبة أكبر من الحد الأدنى المطلوب لشدة المجال (الشكل 28).

الشكل 27

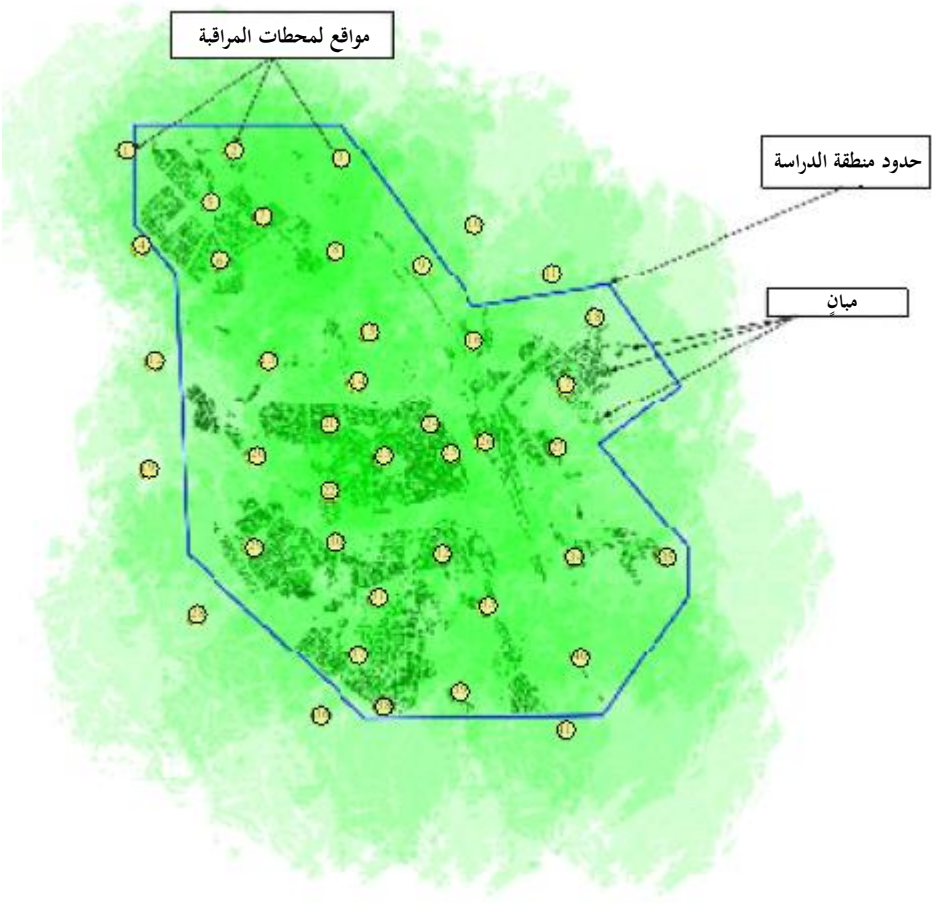
مثال لتعريف المسافة القصوى من محطة مراقبة إلى مرسِل الاختبار
(فقط لتخطيط شبكات مراقبة الطيف بطريقة AOA)



Report SM.2356-20

الشكل 28

مناطق تغطية المواقع المختارة لمحطات المراقبة



Report SM.2356-21

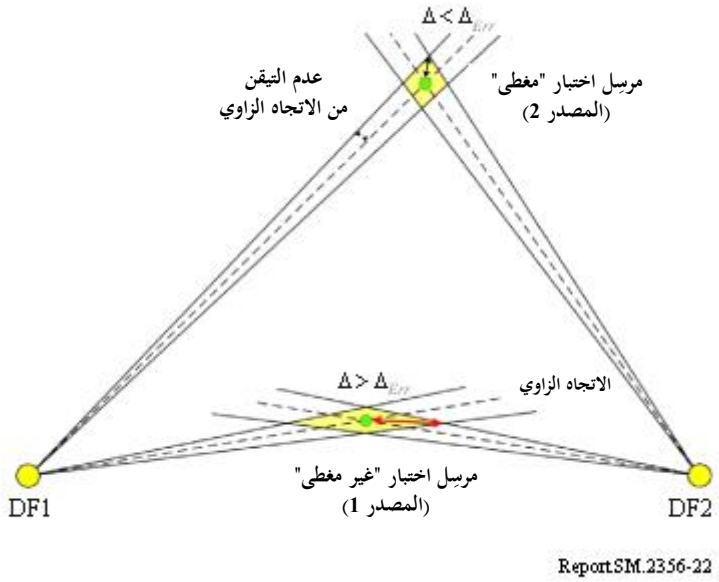
الخطوة 4: رسم مخطط "للوصلات – AOA/TDOA" واختيار المرجع لمحطات المراقبة

التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول

من الضروري، في التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول، أن يغطى كل مرسِل اختبار بما لا يقل عن محطتي مراقبة. ولذلك، ولكل زوج من محطات المراقبة، تتحدد منطقة التغطية المشتركة بالمنطقة التي لن يتجاوز فيها مقدار عدم التيقن من الموقع قيمة محددة مسبقاً للحد الأقصى من عدم التيقن من الموقع (Δ_{Err})، انظر الشكل 29).

الشكل 29

مثال لتحديد منطقة التغطية بمحطتين لقياس زوايا الوصول

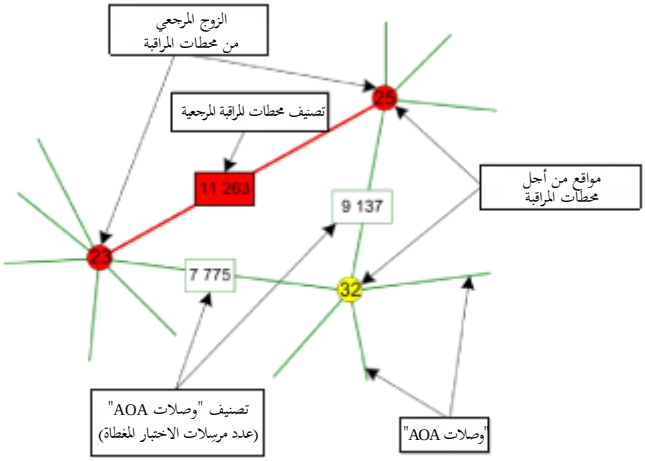


ويكون تصنيف ما يسمى "وصلة AOA" (زوج من محطات المراقبة) عدد متساو من مرسِلات الاختبار المغطاة الواقعة ضمن هذه المنطقة. وبعد حساب التصنيفات لجميع "وصلات AOA"، من الممكن رسم المخطط البياني "للوصلات AOA".

ومن بين جميع أزواج محطات AOA ينبغي اختيار زوج من محطات المراقبة يتمتع بأعلى قدر من التصنيف (على أساس منطقة التغطية الأكبر في منطقة الدراسة). وإذا لزم الأمر، يتم بالإضافة إلى ذلك فحص المواقع لمحطات مراقبة مقبلة. ويعتبر الزوج الأول الناتج من محطات المراقبة بأنه "الزوج المرجعي" (الشكل 30).

الشكل 30

جزء "وصلات AOA" من الرسم البياني

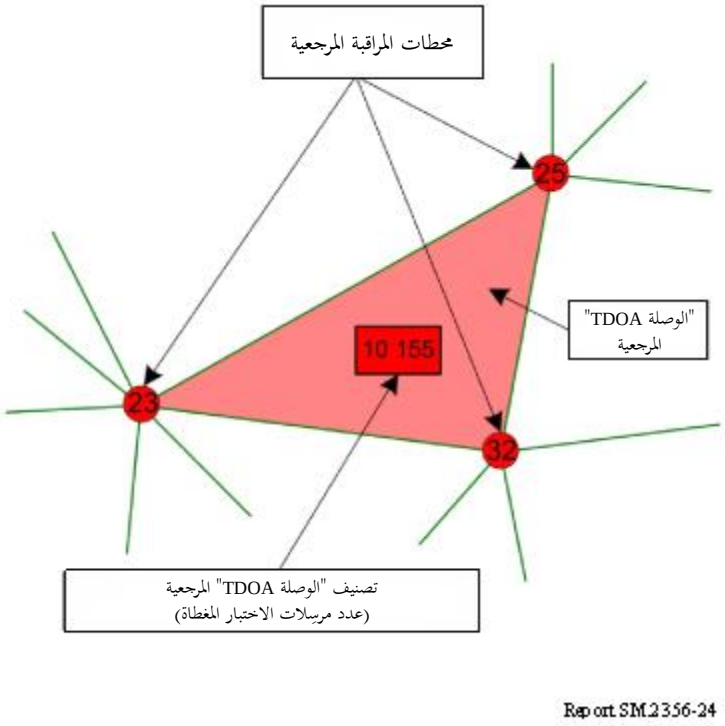


التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس تفاوت أزمنة الوصول

يتم إجراء مماثل للتخطيط لمحطات قياس تفاوت أزمنة الوصول. ولكن في هذه الحالة هناك استثناء واحد: من الضروري أن يغطي كل مرسِل اختبار ما لا يقل عن ثلاث محطات مراقبة (الشكل 31).

الشكل 31

جزء "وصلات TDOA" من الرسم البياني



التخطيط لشبكات مراقبة الطيف من أجل التنصت وقياس معلمات الإشارة الراديوية

يتعين، في حالة التخطيط لشبكات مراقبة الطيف من أجل التنصت وقياس معلمات الإشارة الراديوية، اختيار المحطة التي لها أكبر منطقة تغطية في منطقة الدراسة (أي التي لها أعلى تصنيف). وإذا لزم الأمر، يجري أيضاً فحص الموقع لمحطة مقبلة.

الخطوة 5: تعريف المنطقة غير المغطاة

بعد تحديد المواقع لمحطات المراقبة الراديوية، "تطرح" المناطق التي تغطيها من منطقة الدراسة. وجدير بالملاحظة أن تصنيفات المواقع المتبقية لمحطات المراقبة أو تصنيفات "وصلات AOA/TDOA" المتبقية سوف تتغير بعد عملية التكرار هذه.

الخطوة 6: اختيار المواقع لمحطات المراقبة الجديدة

يجري تحليل المنطقة غير المغطاة في منطقة الدراسة. وينبغي الحصول على الإجابات عن الأسئلة التالية: هل يمكن تغطيتها بمحطات متنقلة؟ هل هناك حاجة للتخطيط لمحطات مراقبة ثابتة إضافية؟ فإذا وجدت هذه الحاجة، عندئذ يتعين اختيار الموقع (المواقع) التالي (التالية) لمحطة (لمحطات) المراقبة التي لها أعلى تصنيف للمنطقة غير المغطاة من منطقة الدراسة.

التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول

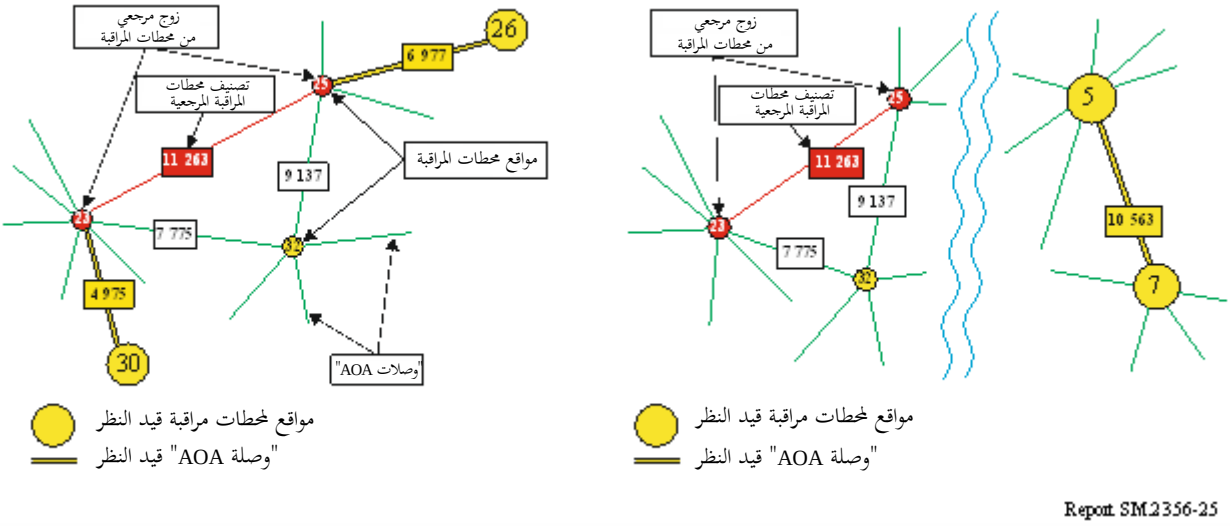
في حالة التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة AOA سيكون الزوج التالي من المحطات ذو أعلى تصنيف. فإذا لم يكن هذا الزوج مجاوراً "للزوج المرجعي"، يتعين عندئذ تحديد ما إذا كان من الضروري زيادة سلسلة "الأزواج المرجعية" حتى أربع محطات، بحيث يكون حاصل التصنيف لهذه السلسلة أكبر من إجمالي التصنيف "للوصلتين AOA" المعزولتين قيد النظر. وهنا يتعين اختيار البديل ذي التصنيف الإجمالي الأعلى (الشكل 32). ويتعين أن نلاحظ ما يلي:

التصنيف $(S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26})$ = التصنيف $(S_{30-23} \cup S_{23-25} \cup S_{25-26})$؛

التصنيف $(S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26})$ ≠ التصنيف (S_{30-23}) + التصنيف (S_{23-25}) + التصنيف (S_{25-26}).

الشكل 32

مثال لاختيار مواقع لمحطات المراقبة (جزء "وصلات AOA" في الرسم البياني)

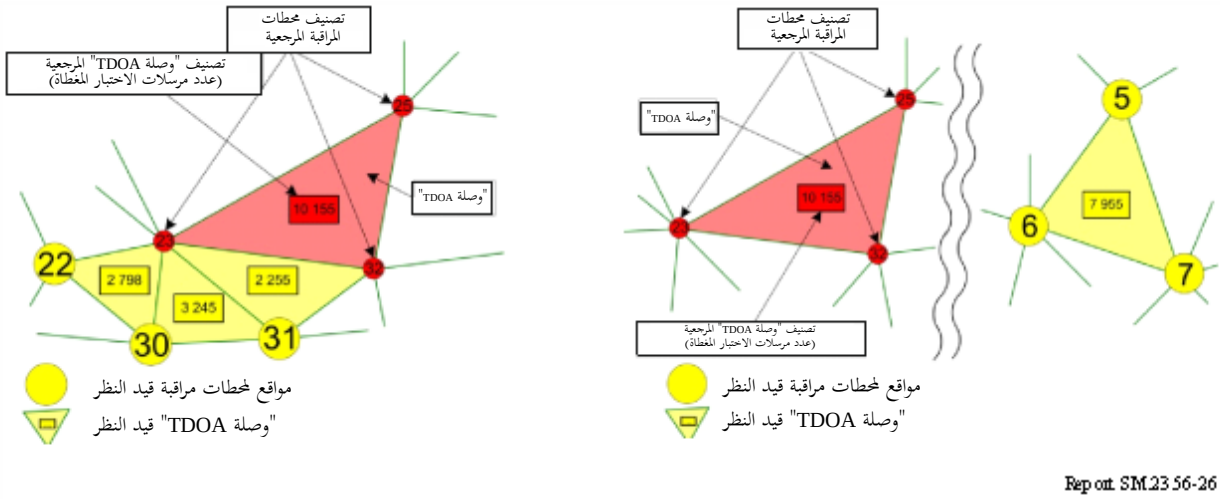


التخطيط لشبكات مراقبة الطيف بطريقة قياس تفاوت أزمنة الوصول

يجري تنفيذ إجراء مماثل للتخطيط لمحطات قياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA). وتكون "الوصلة TDOA" التالية التي لها أعلى تصنيف. فإذا لم تكن هذه المحطات مجاورة "للمحطات المرجعية"، يتعين عندئذ تحديد ما إذا كان من الضروري زيادة سلسلة "المحطات المرجعية"، بحيث يكون حاصل تصنيف هذه السلسلة أكبر من إجمالي التصنيف "للوصلتين TDOA" المعزولتين قيد النظر. وهنا يتعين اختيار البديل ذي التصنيف الإجمالي الأعلى (الشكل 33).

الشكل 33

مثال لاختيار مواقع لمحطات المراقبة (جزء "وصلات TDOA" في الرسم البياني)



التخطيط لشبكات مراقبة الطيف من أجل التنصت وقياس معلمات الإشارة الراديوية

في حالة التخطيط لشبكات مراقبة الطيف من أجل التنصت وقياس معلمات الإشارة الراديوية، يتعين تحليل منطقة الدراسة غير المغطاة ثم اختيار المحطة التالية التي لها أعلى تصنيف (وتكون أكبر منطقة تغطية في منطقة الدراسة غير المغطاة).

الخطوة 7: القيام بعمليات تكرار جديدة

تكرر الخطوات 5 و6 و7، إذا لزم الأمر.

7 الخلاصة

إن عملية التخطيط لشبكات مراقبة الطيف الجديدة واستمثال الشبكات القائمة من حيث التغطية بالمراقبة هي عملية معقدة نوعاً ما وتتطلب قرارات إدارية محددة يتعين اتخاذها في مختلف المراحل. وقد تكون العملية أيضاً مطولة ومضنية إلى حد ما، وخصوصاً عندما يتعلق الأمر باقتناء الأراضي اللازمة لتحديد مواقع المحطات الثابتة، حيث يتعين مسح كل موقع محتمل للوقوف على مدى ملاءمته وتغطيته. وقد يكون من الضروري تكرار هذا الإجراء من أجل العثور على المواقع المتوفرة وتلبية جميع الاحتياجات إلى أقصى حد ممكن.

ويتطلب الأمر إجراء حسابات التغطية بالمراقبة في كل مرحلة تقريباً من مراحل التخطيط لشبكة مراقبة الطيف واستمثالها. وهكذا فهي تسهم بدور حاسم في هذه العملية، كما هو واضح في التوصية ITU-R SM.1392-2. وهذا ينطبق بشكل خاص على حسابات قالب تغطية الموقع (LCT)، ذلك لأن هذه المعلمة بالضبط هي، كما رأينا، أفضل مؤشر على جودة شبكة مراقبة الطيف ككل وجودة فرادى أجزائها.

الملحق 1

مثال عملي لتخطيط شبكة محلية لمراقبة الطيف بطريقة قياس زوايا الوصول في أرض منبسطة نسبياً

A1-1 مقدمة

تتوقف كفاءة التشغيل في أي خدمة وطنية لمراقبة الطيف على بعض العوامل، ومن أهمها:

- بنية شبكة مراقبة الطيف؛
- عدد محطات مراقبة الطيف ومعدات المراقبة الراديوية المستخدمة وقدراتها التقنية.

وتتحدد بنية شبكة مراقبة الطيف بحكم مهام خدمة مراقبة الطيف ونطاق التردد العامل وتوزيع المرسِلات الراديوية ضمن منطقة المسؤولية عن خدمة مراقبة الطيف.

وفي معظم الحالات، يقتصر نطاق التردد في تشغيل شبكات مراقبة الطيف الثابتة على حد أقصى قدره 3 000 MHz ويقتصر نطاق التردد لتشغيل شبكات تحديد الاتجاه الثابتة على حد أقصى قدره 1 000 MHz.

وتتشكل منطقة التغطية المجمعة في شبكة مراقبة الطيف بدمج جميع مناطق التغطية بمحطات المراقبة الثابتة.

وتتشكل منطقة تحديد الاتجاه المجمعة في شبكة تحديد الاتجاه أو مجموعة محددات الاتجاه بتجميع مناطق تحديد الاتجاه لجميع محددات الاتجاه في الشبكة.

وتتشكل منطقة المواقع المجمعة من منطقة تقاطع مناطق تحديد الاتجاه لما لا يقل عن اثنتين من محددات الاتجاه الثابتة.

ويمكن حساب منطقة التغطية بمحطة مراقبة ثابتة واحدة ومنطقة تحديد اتجاه لمحدد اتجاه واحد باستخدام الطريقة الموصوفة في أحدث إصدار من التوصية ITU-R P.1546 أو شرط المساحة الحرة أو يمكن قياسها في الممارسة العملية.

والبيانات الأولية مطلوبة لأغراض مقارنة حدود مناطق التغطية لحدود تحديد الاتجاه هي قيمة الحساسية النموذجية (قيمة عتبة شدة المجال) لمستقبِلات محددات الاتجاه ومستقبِلات محطات المراقبة لمختلف أساليب التشغيل وقدرة خرج المرسِل النموذجية والارتفاع النموذجي لهوائي محطة المراقبة وارتفاع هوائي المرسِل، وهي محددة في كتيّب الاتحاد لمراقبة الطيف.

A1-2 البيانات الأولية لتخطيط طوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف

يمكن، في الممارسة العملية، استخدام نهجين رئيسيين في التخطيط لشبكة ثابتة لمراقبة الطيف:

- تغطية أكبر مساحة ممكنة باستخدام أصغر عدد ممكن من محطات المراقبة الثابتة؛
- التغطية بالمراقبة لأكبر عدد ممكن من المرسِلات الراديوية باستخدام أصغر عدد ممكن من محطات المراقبة الثابتة.

ويرد وصف النهج الأول في البند 8.6 من كتيّب الاتحاد لمراقبة الطيف (طبعة 2011)، وهو يقوم على استخدام بنية منتظمة من شبكة محددات الاتجاه التي تقع فيها محددات الاتجاه على ذُرى المثلثات المنتظمة. ولكن هذه الطريقة لا توفر الحد الأدنى من عدد محددات الاتجاه (أو محطات المراقبة الثابتة). ومن الممكن، في حساب مساحة تحديد الاتجاه لاستمثال كفاءة شبكة مراقبة الطيف، أن تؤخذ التضاريس في الاعتبار.

ويقوم النهج الثاني على أداء عمليات محاكاة تمهيدية لأنواع شتى من طوبولوجيا شبكات مراقبة الطيف الثابتة. ومن الضروري، في حالة تخطيط طوبولوجيا نظام مراقبة الطيف هذه، أن تؤخذ في الاعتبار ثلاثة عوامل رئيسية:

- توزع المرسِلات الراديوية في منطقة المسؤولية؛
- شروط انتشار الموجات الراديوية في مختلف نطاقات التردد؛
- طريقة تعدد الإرسال المستخدمة في بعض تقنيات الاتصالات.

وتحدد طريقة تعدد الإرسال إمكانات شبكة محددات الاتجاه في تحديد مواقع المرسِلات الراديوية.

A1-3 استمثال أبسط طوبولوجيا لشبكة مراقبة الطيف

تتكون أبسط شبكة لتحديد الاتجاه من اثنتين من محددات الاتجاه، تبعد كل منهما عن الأخرى حوالي 8–10 km. ومن المؤسف أن هذه البنية قد تشتمل على مناطق "عمياء"، أي مناطق لا تتمكن فيها شبكة تحديد الاتجاه من تحديد مواقع المرسِلات الراديوية بالدقة المطلوبة أو لا تتمكن من تحديد مواقعها على الإطلاق.

على سبيل المثال، يعرض الشكل A1-1 نوعين ممكنين من المواقع لاثنين من محددات الاتجاه في مدينة لفوف (أوكرانيا). وقد أُشير إلى مواقع المرسِلات الراديوية بالموجات الديسيمترية UHF التي تعمل في نطاق التردد 400 MHz بأيقونات خضراء ووردية، وأُشير إلى مواقع محددات الاتجاه بمثلثات سوداء صغيرة. ورُسمت حدود مناطق تحديد الاتجاه المحسوبة لاستخدام شرط المساحة الحرة بخط أحمر، ورُسمت منطقة المواقع المجمعة بخط أزرق.

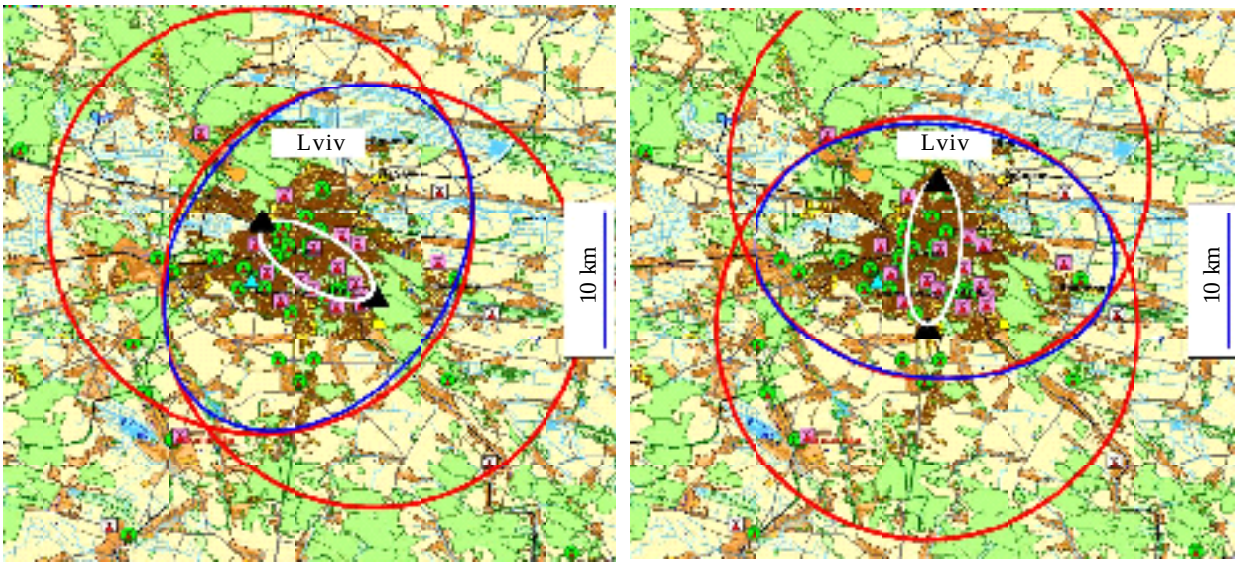
فإذا وُضع اثنان من محددات الاتجاه على طرفين متقابلين من المدينة فإن منطقة الموقع المجمّعة تغطي بعض المرسِلات بينما تقع مرسِلات أخرى ضمن المنطقة "العمياء" (حدودها مرسومة بخط أبيض في الشكل A1-1). وفي هذه الحالة يبلغ العدد حوالي 30% من مجموع عدد المرسِلات.

وفي الواقع هناك حلّان لإزالة المنطقة "العمياء":

- استخدام محدد اتجاه ثالث؛
- استمثال موقع محددَيْ الاتجاه.

الشكل A1-1

بديلان ممكنان لموقع محددَيْ الاتجاه

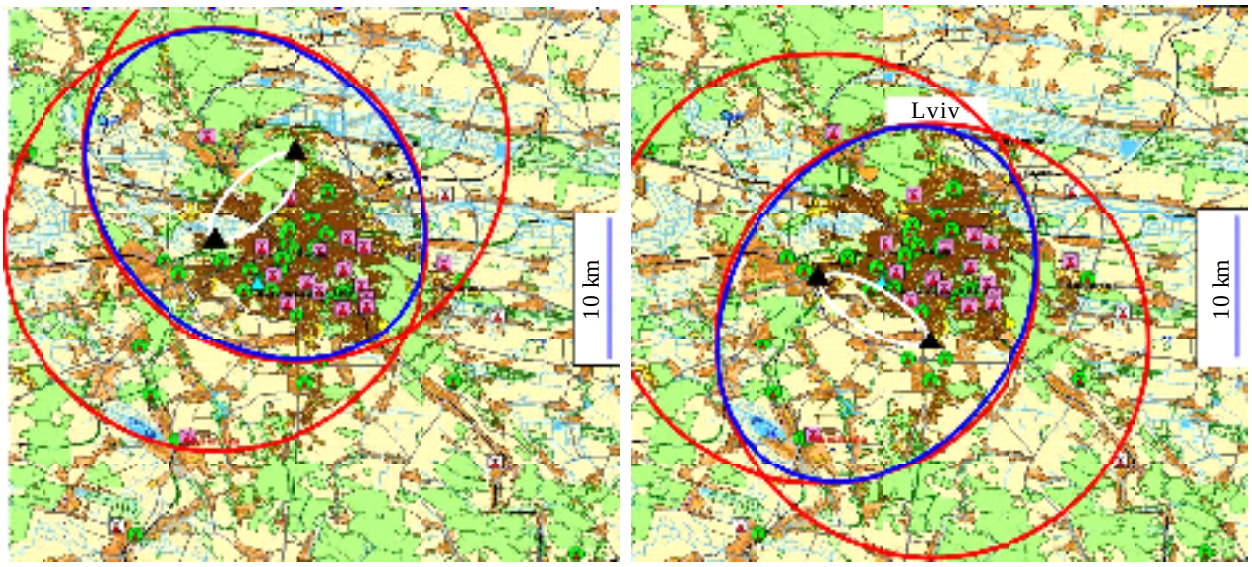


Report SM.2356-A1-01

ويقوم الحل الأخير على استخدام محدديْ اتجاه فقط. ويبين الشكل 2-A1 بديلين ممكنين لموقع محدديْ الاتجاه. وفي هذه الحالة تغطي منطقة المواقع المجمّعة كل المرسِلات دون وقوع أي مرسِلات في المنطقة "العمياء".

الشكل 2-A1

بديلان لمواقع محدديْ الاتجاه في مدينة لفوف



Report SM.2356-A1-02

وطوبولوجيا أبسط شبكة مواقع تتألف من محدديْ اتجاه هي الطوبولوجيا الأمثل عندما تفصل محدديْ الاتجاه مسافة حوالي 8–10 km بالقرب من أطراف المدينة. ومن شأن توضيع محدديْ الاتجاه على هذا النحو اختصار عدد المرسِلات الراديوية التي يمكن أن تقع في المنطقة "العمياء" إلى الحد الأدنى.

4-A1 الطوبولوجيا المنتظمة لشبكة واسعة لمراقبة الطيف

يستدعي توفير مراقبة الطيف وتحديد مواقع المرسِلات الراديوية في مساحة كبيرة من الأراضي استخدام العديد من محددات الاتجاه.

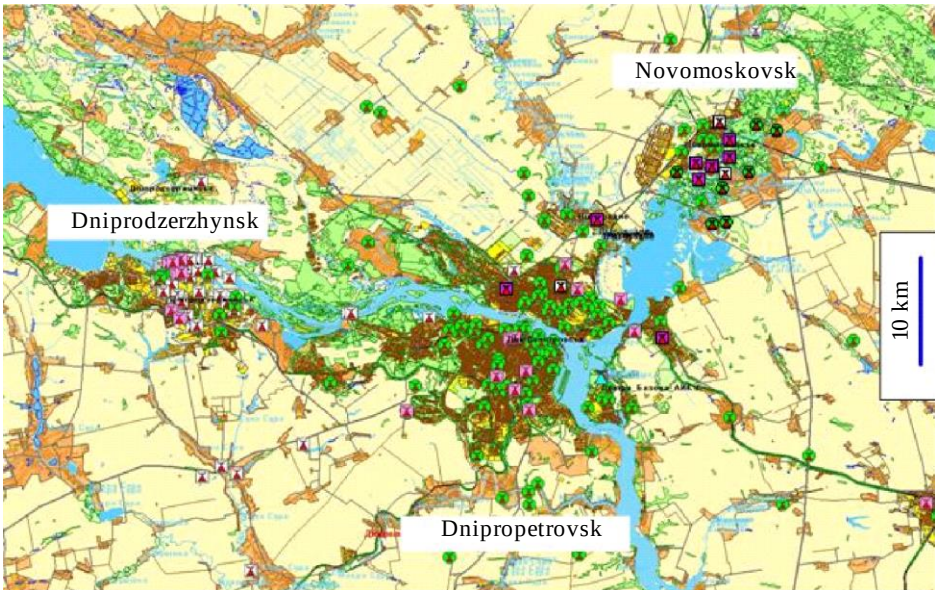
ويعرض الشكل 3-A1 توزع المرسِلات الراديوية (محطات القاعدة الرئيسية والمرسِلات بالموجات الديسيمترية UHF) في نطاق التردد 400 MHz في مدينة دنيبروبتروفسك وبلدتين مجاورتين – هما دنيبرودزرجينسك ونوفوموسكوفسك (أوكرانيا). ويُشار إلى مواقع المرسِلات بأيقونات خضراء ووردية.

ويبين الشكلان 4-A1 و5-A1 نوعين ممكنين لطوبولوجيا محسوبة لشبكة مفترضة من محددات الاتجاه والمواقع تشمل المناطق المذكورة وتقوم على أساس بنية شبكة عادية.

وتتضمن الشبكة في الشكل 4-A1 ثمانية محددات اتجاه وتغطي 100% من المساحة موضع الاهتمام وتوفر الكشف والقياس لمعلمات تردد حوالي 99% من المرسِلات ولكنها تحدد مواقع أقل من 87% من المرسِلات الراديوية.

الشكل 3-A1

توزع محطات قاعدة رئيسية ومرسِلات بالموجات الديسيمترية UHF في نطاق التردد 400 MHz

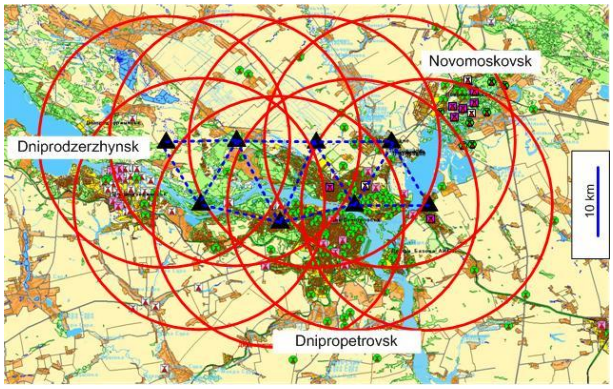


Report SM.2356-A1-03

والشبكة المعروضة في الشكل 5-A1 تغطي 100% من المساحة موضع الاهتمام وتوفر الكشف وقياس معلمات التردد والموقع لحوالي 99% من المرسِلات الراديوية. ولكنها تتطلب ما لا يقل عن سبعة محددات اتجاه.

الشكل 4-A1

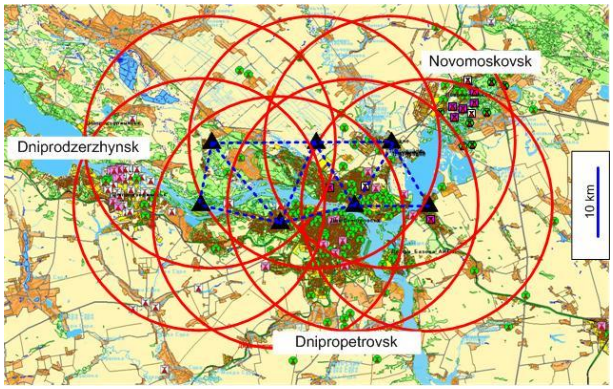
شبكة افتراضية عادية لتحديد الاتجاه والمواقع (البديل 1)



Report SM 2356-A1-04

الشكل 5-A1

شبكة افتراضية عادية لتحديد الاتجاه والمواقع (البديل 2)



Report SM 2356-A1-05

5-A1 بنية غير منتظمة لطوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف

تقوم طوبولوجيا شبكات محددات الاتجاه الكبيرة على بنية غير منتظمة وتتحدد "خطوة خطوة" استناداً إلى معيارين:

- التغطية بالمراقبة لأكبر عدد ممكن من المرسِلات الراديوية باستخدام أقل عدد ممكن من محطات المراقبة الثابتة؛
- تقليل عدد المرسِلات الراديوية في المنطقة "العمياء" بين موقعي أقرب محددتين للاتجاه.

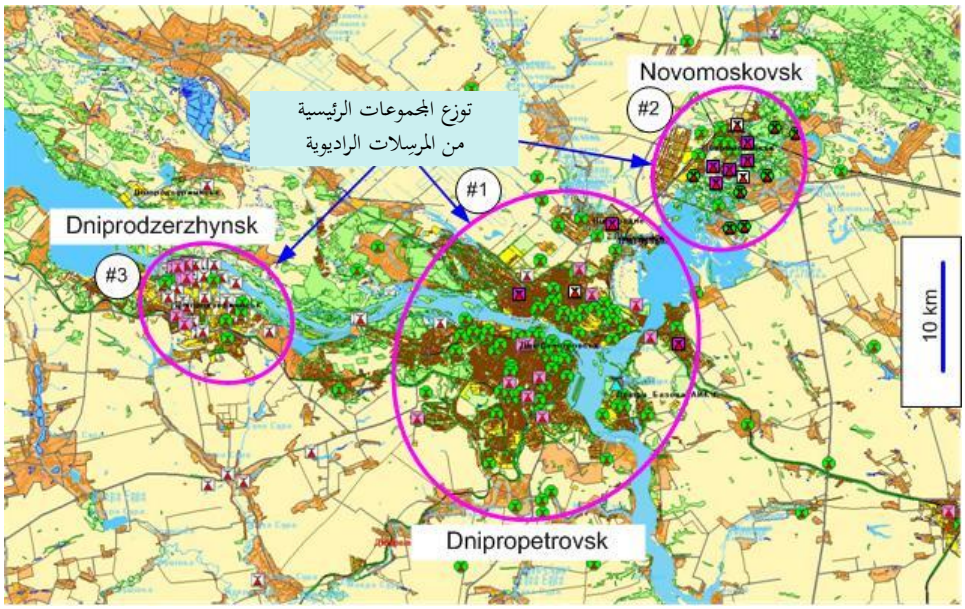
الخطوة 1. يتم تحديد توزع المرسِلات الراديوية في المنطقة موضع الاهتمام في نطاق التردد. يُعرض في الشكل 3-A1 توزع المرسِلات الراديوية في نطاقي الموجات المترية/الديسيمترية (VHF/UHF) في منطقة مدينة دنيبروبتروفسك والبلدتين المجاورتين لها – دنيبرودزرجينسك ونوفوموسكوفسك.

الخطوة 2. يتم تحديد مجموعات كبيرة من المرسِلات الراديوية موضع الاهتمام.

وهنالك في الشكل 6-A1 ثلاث مجموعات كبيرة من المحطات القاعدة الرئيسية والمرسِلات الراديوية بالموجات المترية VHF في نطاق التردد 400 MHz يحيط بكل منها إهليلج وردي.

الشكل 6-A1

مجموعات رئيسية من المرسِلات في نطاق التردد 400 MHz



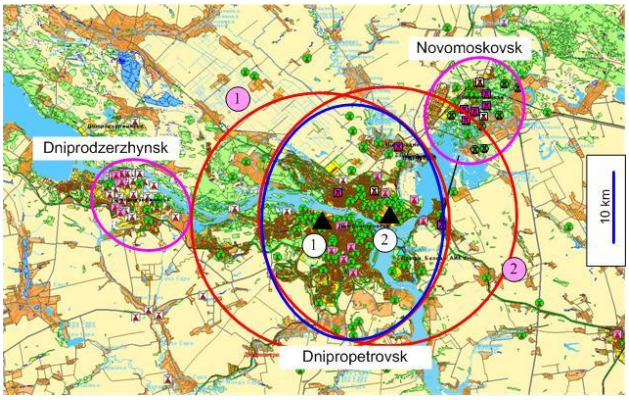
Report SM 2356-A1-06

الخطوة 3. محاكاة الطوبولوجيا التمهيدية لنظام مراقبة الطيف.

يتم تحديد طوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف باستخدام إجراء تكراري. والاقتراح الأول الواضح هو تشكيل منطقة المواقع للمجموعة رقم ي1 بنشر محددتي اتجاه (الشكل 7-A1).

الشكل 7-A1

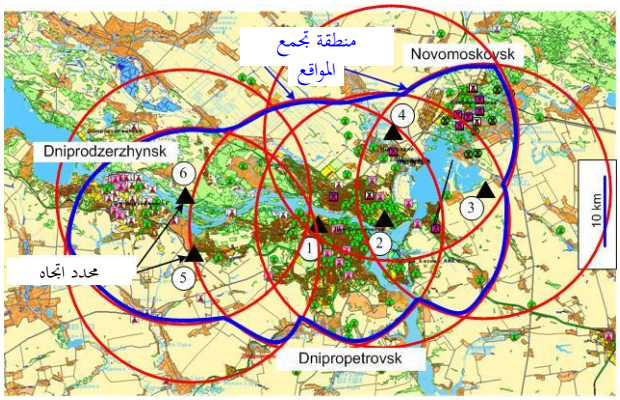
بديل أولي لطوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف



Report SM 2356-A1-07

الشكل 8-A1

منطقة تجميع المواقع في شبكة مراقبة الطيف



Report SM 2356-A1-08

ولكن في هذه الحالة، إذا أُريد تحديد مواقع المرسِلات في المجموعتين رقم 2 ورقم 3، لا بد من نشر زوجين إضافيين من محددات الاتجاه (الشكل 8-A1). ومنطقة تجمّع المواقع لشبكة مراقبة الطيف هذه محاطة بالخط الأزرق.

الخطوة 4. استمثال طوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف.

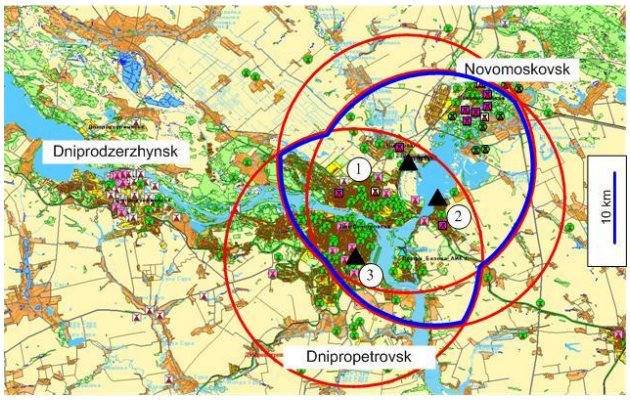
من الممكن، باستخدام بنية غير منتظمة، تقليل عدد محددات الاتجاه إلى الحد الأدنى وكذلك استمثال طوبولوجيا شبكة مراقبة الطيف.

وفي المرحلة الأولى من نمذجة شبكة المواقع توضع ثلاثة محددات اتجاه (1 و2 و3) لتكوين منطقة المواقع على المجموعة رقم 2 من المرسِلات ومعظم أجزاء المجموعة رقم 3 من المرسِلات (الشكل 9-A1).

وفي المرحلة الثانية يتم توسيع مساحة المواقع بإدخال محددي الاتجاه 4 و5 (الشكل 10-A1). ومساحة المواقع المجمّعة محاطة بالخط الأزرق.

الشكل 9-A1

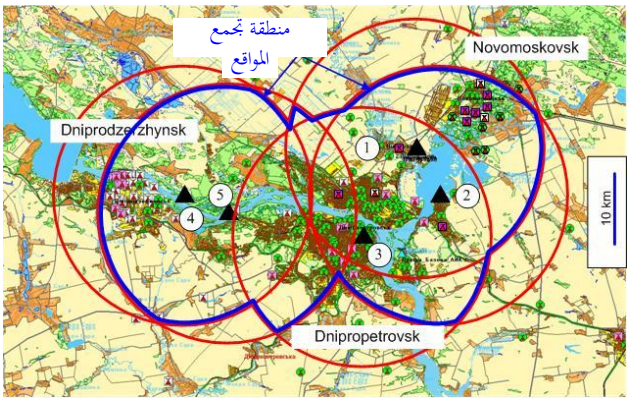
الخطوة الأولى في نمذجة طوبولوجيا غير منتظمة لشبكة مراقبة الطيف



Report SM 2356-A1-09

الشكل 10-A1

الخطوة الثانية في نمذجة طوبولوجيا غير منتظمة لشبكة مراقبة الطيف



Report SM 2356-A1-10

وإذا أُريد تشكيل منطقة تغطية محددة مسبقاً، يمكن إضافة بعض محددات الاتجاه باستخدام المعيار الموصوف أعلاه.

وقد تحددت طوبولوجيا هذه الشبكة الفرعية المحلية لتحديد الاتجاه والمواقع في دنيبروبتروفسك ودنيبرودزرجينسك ونوفوموسكوفسك استناداً إلى نتائج المحاكاة. وتضم الشبكة الفرعية خمسة محددات اتجاه وتغطي نحو 100% من المرسِلات الراديوية بالموجات المترية VHF وحوالي 99% من المنطقة موضع الاهتمام. وكذلك ليس هناك أي منطقة "عمياء" في هذه الشبكة الفرعية المحلية، بما في ذلك احتمال وجود منطقة "عمياء" بين محددي الاتجاه الثابتين 4 و5.

ويمكن، أثناء عملية التخطيط، استمثال البنية غير المنتظمة لطوبولوجيا شبكة تحديد الاتجاه والمواقع، وذلك لتغطية المزيد من المرسِلات الراديوية باستخدام أقل عدد ممكن من محددات الاتجاه الثابتة.

الملحق 2

التخطيط لشبكة مراقبة الطيف بقياس زوايا الوصول في المناطق الجبلية والتلال

A2-1 تمهيد

من المعروف بداهةً أن مساحة مناطق التغطية بمحطات المراقبة تزداد اتساعاً بتزايد ارتفاع الهوائي. ومع ذلك، فإن أي زيادة كبيرة في ارتفاع صاري الهوائي تنطوي على صعوبات تقنية وتكلفة مالية كبيرة. ولذلك يتم عادةً، في الممارسة العملية، زيادة الارتفاع الفعّال لهوائي محطة ما باختيار موقع الهوائي على أرض مرتفعة. وفي البلدان ذات المناطق الجبلية، يمكن في بعض الأحيان زيادة ارتفاع الهوائي الفعّال إلى 000 3 متر، وهو رقم ورد ذكره في التوصية ITU-R P.1546-4.

والمنهجية العامة التي وُضعت مؤخراً [1، 2] والبرمجية المقابلة للتخطيط لشبكة مراقبة الطيف (الموصوفة في الملحق 5 من كتيب الاتحاد بشأن تقنيات إدارة الطيف (CAT) بمساعدة الحاسوب، طبعة 2015) تمكننا من إجراء تقييمات كمية للفوائد المحتملة من تحديد مواقع هوائيات المحطات الثابتة على هذا النحو ومن تحليل الظواهر المرتبطة بها ومن وضع التوصيات المناسبة [3].

وقد استندت حسابات التغطية بالمراقبة إلى المنهجية الواردة في البند 4.1.3.7.4 والقسم 8.6 من كتيّب الاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011). وكانت مرسلة الاختبار المستخدمة لهذه التقديرات جهاز راديوي متنقل خاص (PMR) بقدرة 10 واط يعمل على تردد 900 MHz، بارتفاع هوائي قدره 6 أمتار فوق سطح الأرض. وهذا يقابل ارتفاع صاري هوائي بمقدار 3 أمتار فوق سطح مبنى من طابق واحد، ويوفر لنا نموذجاً مفيداً لمحطة قاعدة راديوية متنقلة صغيرة تتّسم بالحد الأدنى من المعلمات. ويستند نموذج الانتشار بالموجات الراديوية المستخدم إلى المنهجية الواردة في الملحق 5 من التوصية ITU-R P.1546-4، والذي يصف القسم 1.1 منه طريقة حساب موصى بها تنطبق على المراقبة. ويفترض أن يكون جذر متوسط التربيع لعدم التيقن في محدد الاتجاه بمقدار 1º لجميع المحطات الثابتة قيد النظر و2º للمحطات المتنقلة.

A2-2 مناطق تغطية تحديد الاتجاه والمواقع لهوائيات المحطات المقامة على مستويات مرتفعة

عندما نسعى إلى زيادة الارتفاع الفعّال لهوائي محطة ما، يجب ألا ننسى أن المحطة تحتاج إلى بنية تحتية مناسبة لكي تعمل على ما يرام، وقبل كل شيء أن يتوفر لها توفر إمدادات الطاقة الكهربائية وطرق الوصول، وهي ضرورية حتى في حالة محطة آلية غير مأهولة لتوفير الصيانة وما إليها.

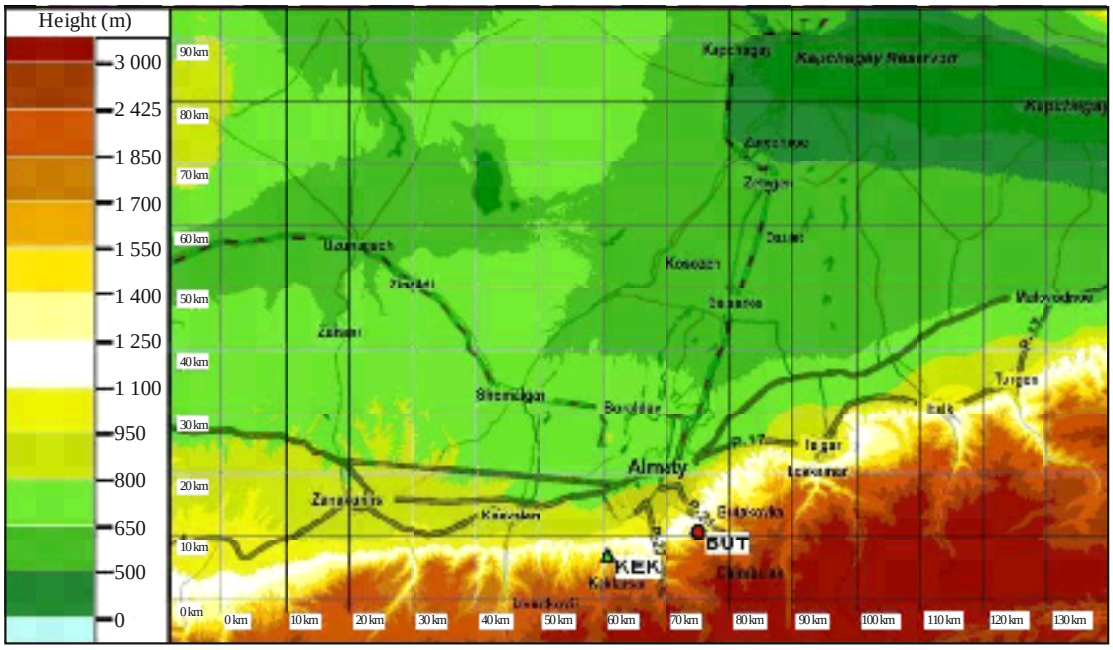
ولذلك يقتصر، في الممارسة العملية، تحديد مواقع المحطات وهوائياتها في المناطق الجبلية على الحدود العلوية من المنطقة القابلة للسكن حيث تتوفر هذه البنية التحتية بالفعل.

لنفترض وجود محطتين ثابتتين وهوائيين في سفوح التلال جنوب ألماتي (جمهورية كازاخستان) [3]. ويظهر هذا المثال في الشكل 1-A2 الذي يبين تضاريس المنطقة المعنية. ويقع هوائي إحدى المحطتين (KEK) على ارتفاع 1 506 أمتار، والآخر (BUT) على ارتفاع 1 568 متراً. ويفترض أن يكون الارتفاع المادي لصاري الهوائي 10 أمتار، حيث يكاد لا يكون لارتفاع الهوائي المادي في هذه الظروف أي تأثير على ارتفاعه الفعلي كما هو محدد وفقاً لإجراءات التوصية ITU-R R.1546-4. ولا يُوصى بأن يكون ارتفاع صاري الهوائي أقل من ذلك لأسباب تتعلق بالسلامة. وقد بُذلت العناية في اختيار مواقع الهوائيات في نقاط معينة من أجل تحقيق أقصى قدر من التغطية بالمراقبة (انظر أدناه).

ويبين الشكل 2-A2 قالب تغطية الموقع (LCT) لكلتا المحطتين.

الشكل 1-A2

تحديد موقع محطات افتراضية وتضاريس المنطقة قيد النظر



Report SM.2356-A2-01

ويتضح من الشكل 2-A2 أن تحديد موقع هوائيات المحطات بهذه الطريقة يمكّننا من إجراء عمليات المراقبة على مسافات كبيرة جداً ضمن حدود السهل المتاخم لسلسلة الجبال، وخاصة نحو الشمال والغرب من ألماتي (حتى 70 km، بل وأكثر من ذلك). ومن الواضح أيضاً من الشكل 2-A2 أنه يتم بفضل تحديد موقعي هوائيي المحطتين على هذا النحو تغطية الجزء الجنوبي من ألماتي بقدر من عدم التيقن من الموقع (LU) يتراوح ما بين 200 و400 متر، ويتم تغطية الجزء الشمالي بقدر من عدم التيقن من الموقع يتراوح ما بين 400 و600 متر. وهذا يسرّع إلى حد كبير عملية تحديد موقع مرسِل ما (أو أي مصادر أخرى من الإرسال) بواسطة محطة متنقلة، حيثما كان ذلك ضرورياً. ومن ناحية أخرى، وبالقرب من الحدود الخارجية لقالب تغطية الموقع (LCT) على مسافات حوالي 60 إلى 70 km من ألماتي، تكون قيم عدم التيقن مرتفعة جداً (حوالي 12 إلى 14 km). وهكذا فإن مقدار عدم التيقن في هذا المثال يختلف بمعامل 70 في قالب تغطية الموقع. وينبغي أن تؤخذ هذه الظاهرة في الحسبان في أنشطة تحديد الموقع.

ويبين الشكل 2-A2 أن تحديد مواقع هوائيات المحطات على ارتفاعات أعلى وسيلة فعّالة جداً وتمكّننا من تغطية مساحات واسعة جداً باستخدام عدد قليل من المحطات الثابتة. ولكن هذا يتطلب عناية أكبر إلى حد ما في اختيار مواقع الهوائيات. وفي منطقة سهلية، لا يؤثر نقل الهوائيات بضع مئات الأمتار، أو حتى بضعة كيلومترات، كثيراً على مناطق التغطية بالمراقبة إجمالاً لمجموعة من

المحطات في شبكة مراقبة الطيف. أما في المناطق الجبلية، فإن تحريك مواقع الهوائيات ولو لبضع عشرات الأمتار يمكن أن يقلص إلى حد كبير من مناطق تغطية المحطات المعنية بالمراقبة. كما يمكن أن يؤثر ذلك سلباً على منطقة تغطية المواقع بشكل عام إذا كان هناك عدد قليل من المحطات الثابتة في شبكة المراقبة. ويبين الشكل 3-A2 قالب تغطية المواقع الذي ينتج عند نقل موقع المحطة BUT لمجرد 100 متر نحو الجنوب (الموقع B2). وعند المقارنة بالشكل 2-A2، تتضح العواقب السلبية لعملية من هذا القبيل.

ولهذا، وحالما تنتهي عملية النمذجة الحاسوبية لشبكة المراقبة في هذه التضاريس الجبلية، لا بد من إجراء عملية مسح دقيقة للمواقع المحتملة تشتمل على مسح بصري شامل (باستخدام المناظير) للمنطقة فيما يتعلق بأي عوائق محتملة أمام انتشار الموجة الراديوية في اتجاه المنطقة التي يتعين مراقبتها.

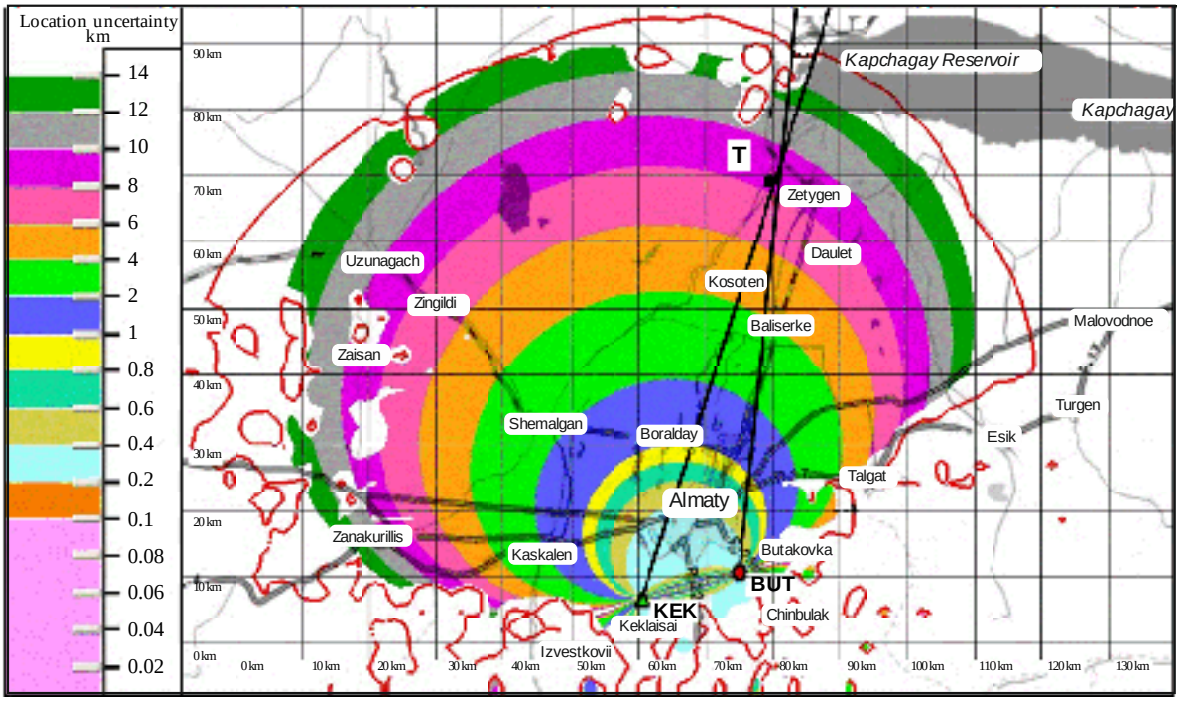
3-A2 تقليل احتمال حدوث آثار الانعكاس

ثمة عامل آخر، مألوف جداً في المناطق الجبلية، هو ظاهرة الانعكاسات من الجبال القريبة [4]. وهذا يتطلب عناية خاصة في عملية اختيار المواقع لهوائيات المحطات. إذ ينبغي اختيار هذه المواقع على قمم الجبال التي تشرف على المنطقة التي يتعين مراقبتها. ومن شأن ذلك أن يقلل من احتمال الانعكاسات من الجبال القريبة التي تماثلها من حيث الارتفاع أو تزيد عنها. أما آثار الانعكاس من الجبال الأقل ارتفاعاً فهي مستبعدة إلى حد ما.

ويبين الشكل 4-A2 هذا النهج بالضبط لاختيار المواقع للهوائيات المرتبطة بمحطتي KEK وBUT. ولكن، من ناحية أخرى، إذا وضع هوائي محطة ما في موقع بين جبلين من نفس الارتفاع أو أعلى منه، كما هو الحال في المحطة N في الشكل 4-A2، فإن احتمال التداخل من الانعكاسات أكبر بكثير. ويبين الشكل 4-A2 زيادة احتمال الانعكاسات لإشارة يتلقاها هوائي المحطة N من مرسِل T_r.

الشكل 2-A2

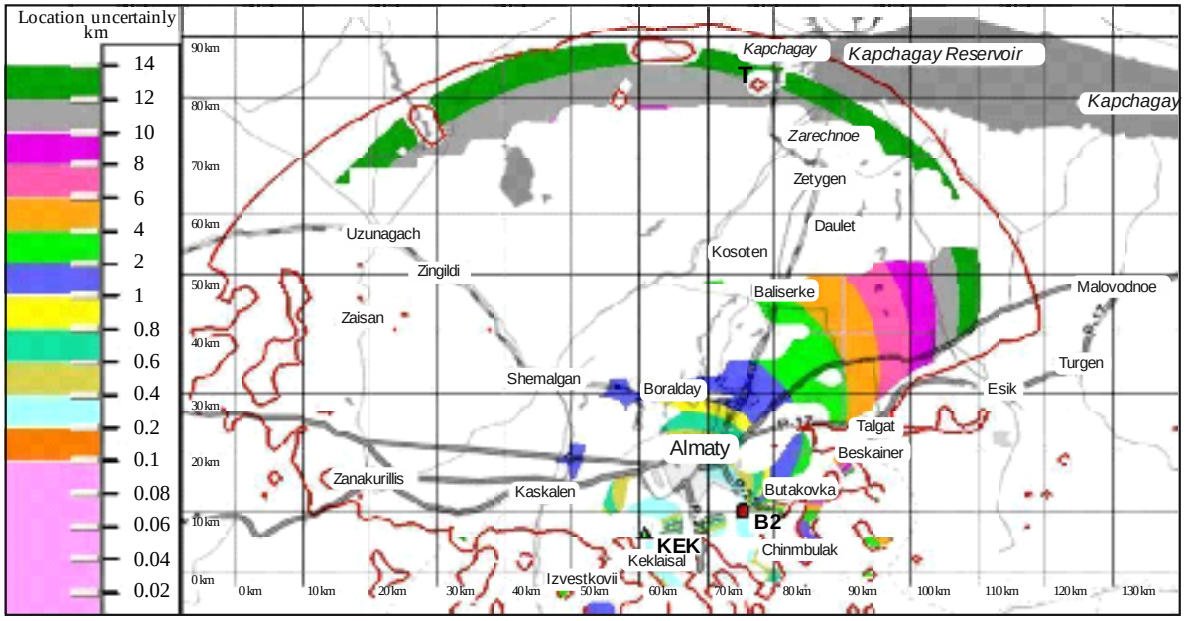
تغطية محددات الاتجاه والمواقع بالتحديد الملائم للمحطتين KEK وBUT



Report SM.2356-A2-02

الشكل 3-A2

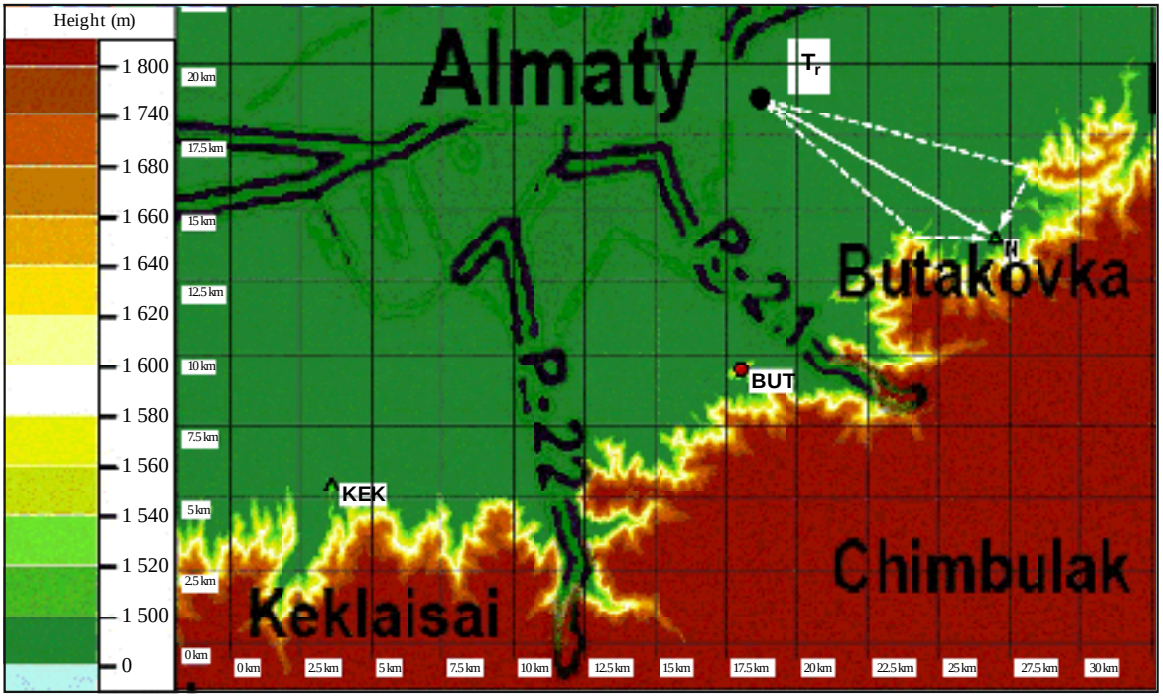
تغطية محددات الاتجاه والمواقع بالتحديد غير الملائم للمحطة BUT



Report SM.2356-A2-03

الشكل 4-A2

تحديد مواقع المحطات لتقليص احتمال آثار الانعكاس



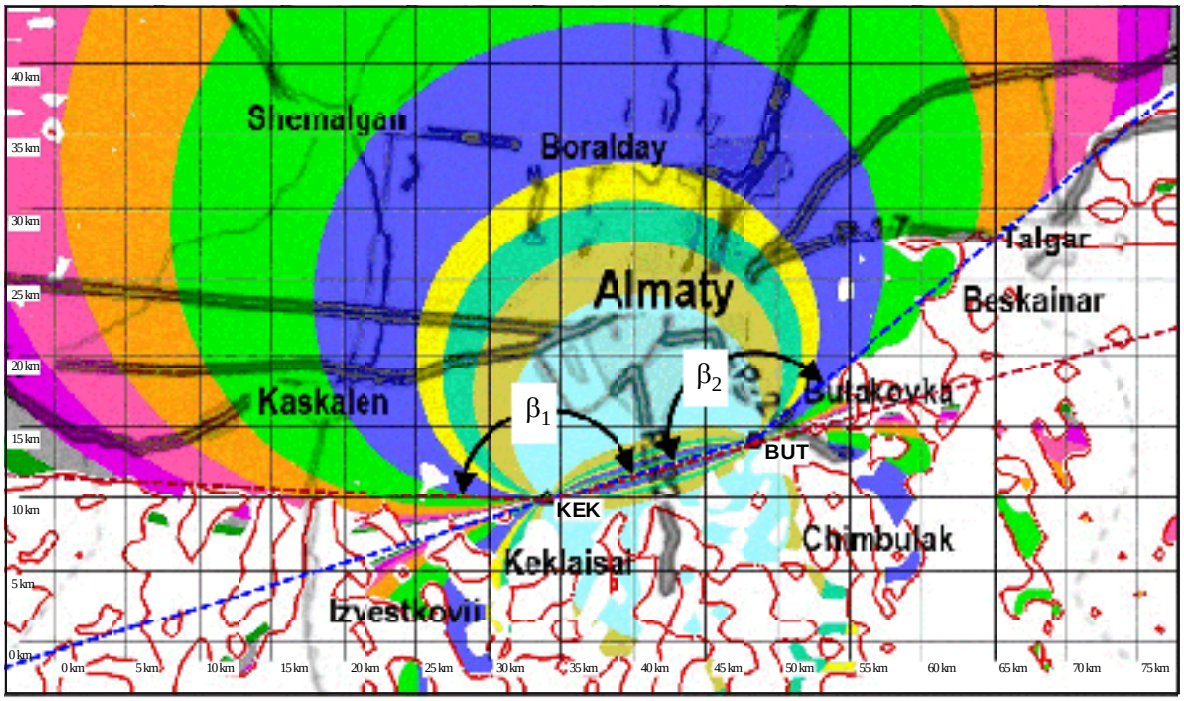
Report SM.2356-A2-04

وحرصاً على منع آثار الانعكاس من الجبال العالية الواقعة على مسافة أبعد من المحطة المعنية (نسبة إلى المنطقة قيد المراقبة) ومن الاتجاهات الجانبية، يمكن وقف جميع الاتجاهات الزاويّة الكاذبة الناجمة عن هذه الانعكاسات باستخدام البرمجية المناسبة [4]. وفي الحالة قيد النظر هنا، كما هو مبين في الشكل 5-A2، يمكن وقف الاتجاهات الزاويّة الكاذبة الواردة إلى المحطتين KEK وBUT في زوايا تقع خارج القطاعين β_1 وβ_2 على التوالي.

وهناك في هذه المناطق، عدد قليل جداً من البلدات أو القرى في الجبال العالية التي قد يكون فيها مرسِلات راديوية تنطوي على أهمية محتملة للمراقبة، وتكاد لا توجد في هذه المناطق مراقبة فعّالة من محطات ثابتة.

الشكل 5-A2

وقف الاتجاهات الزاويّة الكاذبة المتولّدة عن الانعكاسات من الجبال



Report SM.2356-A2-05

عندما تكون المسافات بعيدة عن مجموعة محطات المراقبة الثابتة فقد تكون قيم عدم التيقن من الموقع مرتفعة جداً. ولكن هذا لا يمنع التحديد الفعلي لمكان المرسِل موضوع التفقد من محطة متنقلة في هذه المناطق وكذلك في مناطق خارج قالب تغطية المواقع (LCT)، حيث لا يُزوَّد محدد الاتجاه إلا بمحطة مراقبة ثابتة واحدة، إذا كان هناك تفاعل فعّال بين محطات المراقبة المتنقلة والثابتة هذه، كما هو موضح في المرجع [5].

4-A2 ملاحظات ختامية

يمكن استغلال التضاريس الجبلية على نحو فعّال من أجل توسيع مناطق التغطية بالمراقبة بعدد قليل من المحطات الثابتة عبر السهول المجاورة للسلاسل الجبلية. ومن ناحية أخرى، وفي ظل ظروف من هذا القبيل، فإن اختيار مواقع هوائيات مناسبة وإجراء مسوح ميدانية متأنية على درجة أعلى من الأهمية لضمان عدم انقطاع خطوط البصر في اتجاه المنطقة الخاضعة للمراقبة. ومن الضروري أيضاً اتخاذ التدابير للحد من تأثير الانعكاسات من الجبال القريبة التي تقع خلف محطة معينة نسبة إلى المنطقة التي يتعين مراقبتها.

الملحق 3

أداء المستقبِلات وأثره على تغطية الشبكة

1-A3 أثر أداء المستقبِلات على مسافات الفصل بين محطات شبكة تحديد الموقع الجغرافي

تُعرّف حساسية النظام لمحطة مراقبة الطيف بواسطة العديد من مختلف معلمات التصميم، بما في ذلك كسب الهوائي وعرض النطاق الآني (IBW) ورقم الضوضاء والنطاق الديناميي الآني وضوضاء الطور في المستقبِلات.

ويكون لمواصفات أداء مستقبِلات المراقبة أثراً مباشراً على المسافة الفاصلة المخطط لها بين العقد على الشبكة العادية الأولية. ولهذا بدوره أثر على منطقة التغطية. ومن شأن المستقبِلات عالية الأداء أن تسمح بقدر أكبر من الفصل وبالتالي بعدد أدنى من محطات المراقبة لتغطية منطقة معينة. وتنطبق هذه المبادئ على شبكات قياس زوايا الوصول (AOA) وقياس تفاوت أزمنة الوصول (TDOA) والشبكات الهجينة. وفيما يلي نستخدم التعبير $NF_{receiver}$ بوصفه رقم الضوضاء الفعّال للمستقبِل، الذي يجمع ما بين رقم ضوضاء المستقبِل الفعلي وآثار النطاق الديناميي الآني وضوضاء طور المستقبِل. ورقم الضوضاء النموذجي لمستقبِل حديث الصنع هو 12 dB.

2-A3 المدى الديناميي الآني

تعمل الإشارات الحديثة بزيادة مطّردة في عرض النطاق تصل إلى 20 MHz أو أكثر. ورغبة في تحليل هذه الإشارات على نحو فعّال، تستخدم أنظمة مراقبة الطيف الحديثة مستقبِلات عريضة النطاق. وفي سياق الزيادة في عرض نطاق المستقبِل ثمة أثر جانبي غير مقصود وهو أن من المرجح وجود إشارات قوية وإشارات ضعيفة معاً داخل عرض نطاق المستقبِل. واحتمال إقامة نظام المراقبة في محيط إشارات قوية قريبة هو مشكلة واقعية نظراً لاستمرار تزايد كثافة المرسِلات.

وللتمكّن من استقبال إشارة ضعيفة في وجود إشارات قوية يجب أن يتمتع المستقبِل بمدى ديناميي عال داخل النطاق وإلا لن يكون قادراً على كشف الإشارات الضعيفة.[4] وتأثير المدى الديناميي غير الكافي هو عدم التمكن من كشف الإشارات الضعيفة، وهو ما يعادل زيادة رقم الضوضاء *الفعّال* في المستقبِل. وجدير بالملاحظة أن بالإمكان تخفيض آثار الإشارات القوية القريبة باستخدام مستقبِلات لديها عرض نطاق مزدوج، نطاق عريض ونطاق ضيق، حيث يُستخدم عرض النطاق الضيق (عادةً 1/10 من عرض النطاق العريض) في وجود إشارات قريبة قوية للغاية.

3-A3 ضوضاء الطور

الغرض من المذبذب المحلي في المستقبِل هو إنتاج إشارة مزج نقية قدر الإمكان، ولكن يمكن أن تختلف درجة النقاء الممكن تحقيقه في الممارسة العملية اختلافاً كبيراً تبعاً للتصميم. وتقاس درجة النقاء بوحدة dB تحت الموجة الحاملة (dBc) في عدة ترددات تَخالفٍ. والمشكلة هي أن ضوضاء طور المذبذب المحلي يمكن أن تُحجب، جراء المزج المتبادل في المستقبِل، الإشارات الضعيفة في وجود إشارات قوية. وتأثير المزج المتبادل، مرة أخرى، يعادل زيادة رقم الضوضاء *الفعّال* في المستقبِل. ورغبة في تخفيض الآثار المترتبة على المزج المتبادل إلى الحد الأدنى، يجب أن تكون ضوضاء الطور في المستقبِل منخفضة. وينبغي ألاَّ تكون مواصفة ضوضاء الطور في مستقبِلٍ حديث الصنع أقل من −100 dBc/Hz في تخالف بمقدار 10 kHz.

---

4 لا يتناول هذا التحليل خطوات التخفيف من قبيل مراشيح قطع أو وقف النطاق لتخفيض الإشارات القوية.

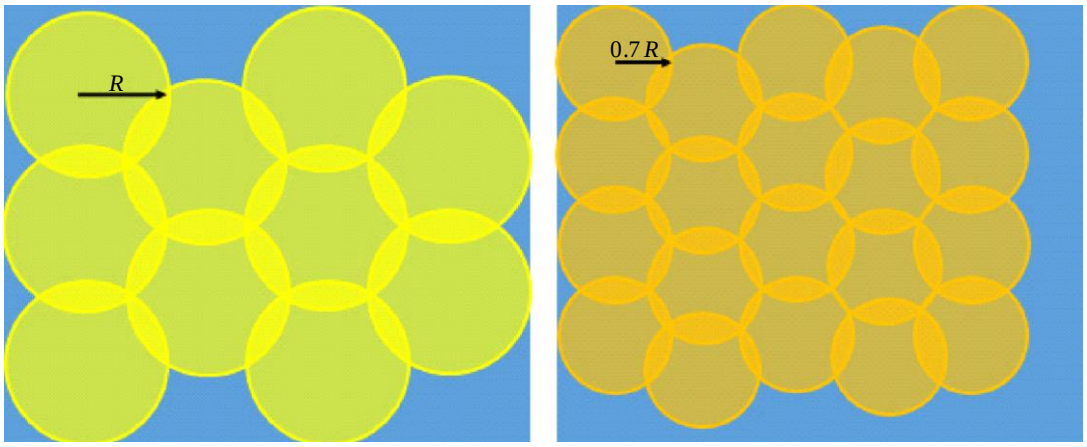
4-A3 الآثار المترتبة على منطقة التغطية

يوضح الشكل 1-A3 العلاقة بين رقم الضوضاء الفعّال في المستقبِل ومجموع عدد المحطات المطلوبة من أجل تغطية شاملة للمنطقة الافتراضية موضع الاهتمام. ويبين الرسم الأيسر شبكة من المحطات، $NF_{receiver} = X$، تؤدي إلى نصف قُطر تغطية R ومنطقة تغطية CA. ولهذه الشروط، يمكن تغطية المنطقة موضع الاهتمام بحوالي تسع محطات.

ويبين الرسم الأيمن وضع مستقبِل، يكون فيه رقم الضوضاء الفعّال أعلى بمقدار 3 dB أي $NF_{receiver} = X + 3$ dB. وفي هذه الحالة يتم تخفيض نصف قُطر التغطية إلى R 0,7 ويتم تخفيض منطقة التغطية الى CA ½.

الشكل 1-A3

مثال لعلاقة بين رقم الضوضاء الفعّال في مستقبِل ومجموع عدد المحطات المطلوبة لتغطية شاملة لمنطقة افتراضية موضع الاهتمام



Report SM.2356-A3-01

ولكل زيادة بمقدار 3 dB في رقم الضوضاء الفعّال يكاد يتضاعف عدد محطات المراقبة المطلوبة لهذا النموذج التحليلي البسيط.

وجدير بالملاحظة أن كل هذه الحجج لا تصح إلا بالنسبة للفضاء الحر. ويمكن أن يكون هذا الوضع، في الممارسة العملية، أسوأ من ذلك. ففي المناطق الحضرية وشبه الحضرية، حيث القيمة المثالية هي 20 log (d)، تصبح هذه القيمة 40 log (d) أو 50 log (d)، ومن ثم تُفضي كل زيادة بمقدار 3 dB في رقم الضوضاء إلى الحاجة إلى عدد أكبر من المستقبِلات لتوفير التغطية الشاملة.

وثمة المزيد من المعلومات عن مستقبِلات المراقبة في القسم 3.3 من كتيّب قطاع الاتصالات الراديوية بالاتحاد بشأن مراقبة الطيف (طبعة 2011).

5-A3 الخاتمة

من المهم استخدام معدات الاستقبال التي تمتثل لتوصيات الاتحاد الراهنة أو تتفوق عليها. ويبين استخدام أبسط نموذج تحليلي أن كل زيادة بمقدار 3 dB في رقم الضوضاء الفعّال في المستقبِل يمكن أن تتطلّب على الأقل مضاعفة عدد محطات المراقبة المطلوبة.

المراجع

[1] Krutova, O.E., Pavlyuk, A.P., *Planning procedures for spectrum monitoring networks in the VHF/UHF frequency range* – Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Europe 2012. Rome, Italy, September 2012. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6396919

[2] Bykhovsky, M.A., (ed.). *Osnovy upravlenia ispolzovaniem radiochastotnogo spectra, Tom 1: Mezhdunarodnaya i natsionalnaya sistemy upravlenia PChS. Radiokontrol i radionadzor*. (Basic principles of managing radio spectrum use, Vol. 1: International and national systems of spectrum use. Monitoring and inspection. M. URSS. 2012). (In Russian).

[3] Nurshabekov, R.R., Aitmagabetov, A.Z., *Ispolzovanie gornogo relefa mestnosti dlya rasshirenia zon okhvata monitoringom v OVCh/UVCh polose chastot*, Vestnik KazATK, Vyp. No. 1, 2013. (Use of a location's mountainous topography to extend monitoring coverage in the VHF/UHF band, in Bulletin KazATK, No. 1, 2013.) (In Russian; an English translation is available by the address: http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261).

[4] Nurmatov, B.N., *Osobennosti radiopelengatsii v usloviyakh Kyrgyzskoy Respubliki.* VI Mezhdunarodny simpozium po elektromagnitnoy sovmestimosti i elektromagnitoy ekologii, Sankt Petersburg, Russia, 21-24 June 2005. (Special characteristics of radio direction finding in the conditions prevailing in the Kyrgyz Republic. VI International Symposium on electromagnetic compatibility and electromagnetic ecology, St. Petersburg, Russia, 21-24 June 2005.)

[5] Nurshabekov, R.R., Aitmagabetov, A.Z., *Dopoisk radioperedatchikov s pomoshchyu podvizhnykh stantsy monitoringa*, Vestnik KazATK, Vyp. No. 1, 2013. (Homing of radio transmitters using mobile monitoring stations, in Vestnik KazATK, No. 1, 2013.) (In Russian; an English translation is available by the address: http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261).

[6] Parsons, J.D. *The Mobile Radio Propagation Channel Second Edition*, Chichester: Wiley, Print. 2000. Chapter 4, Propagation in Built-up Areas.