

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2356-0 报告**  
(06/2015)

**VHF/UHF频率范围内频谱监测  
网络的规划和优化程序**

**SM 系列**  
**频谱管理**

**15**   
1865-2015



国际电信联盟

## 前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

## 知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

### ITU-R 系列报告

(也可在以下网址获得: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>)

系列	标题
<b>BO</b>	卫星传输
<b>BR</b>	用于制作、存档和播放的记录：用于电视的胶片
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电测定、业余无线电以及相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定和固定业务系统之间频率共用和协调
<b>SM</b>	<b>频谱管理</b>

**注：**本ITU-R报告英文版已由研究组按ITU-R第1号决议规定的程序批准。

电子出版物  
2015年，日内瓦

© 国际电联 2015

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

## ITU-R SM.2356-0\* 报告

## VHF/UHF频率范围内频谱监测网络的规划和优化程序

(2015年)

**概述**

本报告包括对三种不同方法的讨论。第一种方法结合了利用测向天线阵列从多个站点测得的关于到达角（AOA）的测量结果来确定发射机的位置；第二种方法结合了从至少三个站点测得的关于到达时间差（TDOA）的测量结果（地理定位需要三个站点之间的两对TDOA测量结果）；第三种方法结合了AOA和TDOA的测量结果，来进行地理定位处理（至少需要两个站点：一个既需要具备AOA能力，也需要具备TDOA能力；一个只需要具备TDOA能力）。本报告包括以下三个附件：

附件1：在比较平的地形中关于局域AOA SMN规划的实际例子。

附件2：在山区和丘陵地区中的AOA SMN规划。

附件3：接收机性能及其对网络覆盖范围的影响。

---

\* 本报告应引起ITU-D第1研究小组的注意。

## 目录

页码

1	引言 .....	4
2	在准备规划过程中主管部门的基本决定 .....	5
3	AOA频谱监测网络的规划和优化.....	7
3.1	现有一般方法的主要原则 .....	7
3.2	SMN的计算机辅助建模.....	9
3.3	在现场勘测和土地征用过程中对站点进行改善 .....	23
3.4	小型和特殊的局域SMN的规划.....	24
4	TDOA频谱监测网络的规划和优化 .....	25
5	混合监测网络的规划 .....	25
5.1	地理定位方法比较 .....	25
5.2	地理定位覆盖范围和精度仿真 .....	26
5.3	混合系统性能概述 .....	26
6	用于规划小型和特殊的局域SMN的一般化方法.....	26
6.1	小型和特殊的局域SMN的计算机辅助建模.....	27
7	结论 .....	34
	附件 1 – 在比较平的地形中关于局域AOA SMN规划的实际例子 .....	34
A1-1	引言 .....	34
A1-2	用于规划频谱监测网络拓扑结构的初始数据 .....	35
A1-3	最简单频谱监测网络拓扑结构的优化 .....	35
A1-4	规则的大型频谱监测网络拓扑结构 .....	37
A1-5	不规则的频谱监测网络拓扑结构 .....	38
	附件 2 – 在山区和丘陵地区中的AOA SMN规划 .....	40
A2-1	前言 .....	40
A2-2	坐落于较高位置上的站点天线的测向和定位覆盖区域 .....	41
A2-3	减少反射效应的可能性 .....	42

A2-4 结束语 .....	45
附件 3 – 接收机性能及其对网络覆盖范围的影响.....	46
A3-1 接收机性能对地理定位网络站点间隔距离的影响 .....	46
A3-2 瞬时动态范围 .....	46
A3-3 相位噪声 .....	46
A3-4 对覆盖范围的影响 .....	46
A3-5 结论 .....	47
参考文献.....	48

## 1 引言

频谱监测网络（SMN）规划和优化的目标是实现所需的跨地区（包含最高密度的发射机，而监测站的数量最少）。这通过使用尽可能低的天线塔高度来实现，同时保持高品质的射频（RF）测量结果。感兴趣的地区可能是人口众多或工业发达的中心地带。

用于这种VHF/UHF频率范围内规划和优化的计算机化方法（基于到达角（AOA）原则）是近年来开发的，在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节中进行了阐述。相比之前完全基于网络设计者进行的专家评估的程序，这前进了一大步。ITU-RSM.1392-2报告提到了第6.8节，并强调指出了在发展中国家对SMN开展有效规划和优化所潜在的技术和经济效益。这些益处只能通过使用计算机辅助方法来实现，并完全适用于发达国家。

实践经验表明，相比基于专家评估结果而规划的SMN，正确的计算机模型和计算结果有望减少覆盖某个给定地区所需的固定监测站数量。这通过选择最佳站点和最优天线高度来实现，并需考虑周边地形的特殊特征。

另一方面，从利用适当软件实施该方法的实践经验中<sup>1</sup>，如基于主管部门不同的财务能力水平，用于不同构成的SMN和部署于不同的地理条件下，可以清楚地看到，规划和优化过程是相当复杂的。它包含许多不同的阶段，由所规划之SMN的主要需求来确定，这需要预先定义。此外，还需在规划阶段做出诸多管理方面的决定，以实现过程的优化。所有这些问题都无法在现有的指导方针下得以很好地解决。

出于这个原因，对补充当前公认的方法而言，这将是有益的，将用更加详细的指导原则和循序渐进的实施来使整个过程更加有效，同时尽可能地减少涉及的工作。该问题是本报告的主题。

在设计一个SMN时结合使用两种或更多种地理定位技术是一种选择。有许多不同的方法可用于地理定位处理。本报告包括对三种不同方法的讨论。第一种方法结合了利用测向天线阵列从多个站点测得的关于到达角（AOA）的测量结果来确定发射机的位置；第二种方法结合了从至少三个站点测得的关于到达时间差（TDOA）的测量结果（地理定位需要三个站点之间的两对TDOA测量结果）。

第三种方法结合了AOA和TDOA的测量结果，来进行地理定位处理（至少需要两个站点：一个既需要具备AOA能力，也需要具备TDOA能力；一个只需要具备TDOA能力）。为简化起见，将这三种方法称为：

- AOA；
- TDOA；以及
- 混合AOA/TDOA。

最后，应考虑到接收机的性能因素，如噪声系数/灵敏度、相位噪声等。性能较高的接收机可允许更大的间隔，因此只需较少数量的监测站即可覆盖某个给定的区域。本报告包括以下三个附件：

---

<sup>1</sup> 如在《国际电联关于频谱管理的计算机辅助技术（CAT）手册》（2015年版）附件5中所述的软件。

附件1: 在比较平的地形中关于局域AOA SMN规划的实际例子。

附件2: 在山区和丘陵地区中的AOA SMN规划。

附件3: 接收机性能及其对网络覆盖范围的影响。

## 2 在准备规划过程中主管部门的基本决定

SMN规划的第一步需要依据可用的和预期的财务资源，基本确定系统的目标、配置和性能。除了ITU-R SM.1392-2建议书中提到的各点，还包括：

### – 待监测的区域的大小

这指的是将被监测覆盖的整个地区。

### – 固定站全覆盖区域对局部覆盖区域

某个给定区域应是全覆盖区域还是局部覆盖区域，以及是否通过单个局域子网（只在整个被监测区域其段所在的范围内提供全覆盖）来达成覆盖的目标？

### – AOA 对TDOA 对混合AOA/TDOA技术

考虑到ITU-RSM.2211-1报告，需要对地理位置要求做一研究，以确定哪些技术最适于开发某个特定SMN。

### – 决定是建立一个新的SMN还是升级现有的SMN？

主管部门必须决定在新的SMN中现有固定站应重用到什么程度，以及其设备是否需要更换或升级，以提高覆盖范围。

### – 测试发射机的类别和核心监测任务：监听、测量辐射特性、测向（DF）和估计辐射器位置

在全覆盖（或近全覆盖）范围内，重要的是要确定与不同测试发射机类别有关的四个参考监测功能所需的覆盖区域（参见下面第3.1节），以及监测频率。组合方法是可能的。例如，可能为较高类别的测试发射机（如类II）的全覆盖定位覆盖范围规定某种要求，以及为较低类别的发射机（如类I）只规定全覆盖测向覆盖范围。

### – 固定站和移动站数量的相对比例

鉴于测向寻的某个辐射源需要用到一个移动站，因此需要确定适当的固定站和移动站的比例。这取决于一些因素，包括用于全覆盖（或近全覆盖）范围的监测功能。利用定位全覆盖范围，辐射源的可能坐标将通过自固定站的方位线交叉点来确定。在这种情况下，所需的移动站数量将更少，并可迅速完成测向寻的。在只有测向全覆盖范围的情况下，寻的将变得更加费力和耗时。出于此原因，移动站所占比例将更大。在广阔区域、固定站无需测向覆盖范围的情况下，需要更多的移动站。

根据规划过程中获得的知识以及考虑财务资源状况，对规划过程之初所做的决定可以进行改变。

在规划初始阶段，同样重要的是尽可能多地收集关于感兴趣区域的信息（行政的、社会经济的，等等），包括：



- 标明人口中心、现有公路、铁路线路等的详细地图；
- 整个地区的人口密度分布和各经济区；
- 区域中发射系统的密度分布；
- 来自国家频率注册部门关于高功率发射机及其天线高度部署情况和技术特性的数据；
- 标明高压输电线路路由和相关交换站的地图；
- 如果可获得的话，还包括微波天线桅杆和其他高的金属结构的位置数据。

同样重要的是做出关于以下问题的决定：

#### - 确定无线电监测设备的要求

为确定场强边界值，有必要设置有关监测站设备的性能要求，如接收天线增益、电缆衰减、接收机灵敏度，等等。

#### - 无线电波传播模型的选择

规划SMN在很大程度上受到所用射频（RF）传播模型的影响。因此，重要的是要选择一个适合监测站服务区域的模型。在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.4节中可以找到关于传播模型的信息。例如，可以使用基于ITU-R P.1546-5建议书或ITU-R P.1812-3建议书中所述之方法的传播模型。实践表明，依据ITU-R P.1546-5建议书的计算结果往往会为准平面地形带来一个更加准确的预测结果，而ITU-R P.1812-3建议书更适合丘陵地区和山区。然而，这些模型并不总是准确的，原因是每个预测结果都高度依赖于具体的情况。

对城区而言，应使用专为这些条件而开发的传播模型，如Okumura-Hata模型或COST 231 Walfisch-Ikegami模型。新确定的传播模型已经得以开发，它们利用了城市和建筑物的三维数字地图。这些模型中的许多模型基于几何光学方法（如射线跟踪模型），可能比传统方法更精确。

#### - 确定监测站的回避区域

重要的是要确定区域，以避免在这些区域放置监测站。可以关闭这些区域，或者确保位置或区域拥有大的场强。在第二种情况下，监测接收机通频带内信号的边界场强（平方和根值）为30 mV/m，（即90 dB ( $\mu$ V/m)，《国际电联频谱监测手册》第2.6节）。ITU-R SM.575-2建议书可用于计算边界场强，以便保护固定监测站免受来自附近发射机或大功率发射机的干扰。

#### - 定位不确定性（对AOA/TDOA SMN而言）

在规划AOA/TDOA站时，需要确定有关发射机位置的最大允许误差值。该误差值将定义监测网络的基本性能要求。在这点上值得注意的是，AOA方法需要至少两个监测站，而TDOA方法需要至少三个监测站。

当要求监测服务只能由移动站来提供时（例如，搜索非法发射机、解决干扰问题，等等），获得有关所关注区域的（多年）统计数据也很重要。这样的统计数据可用来确定固定站和移动站的最佳混合。



### 3 AOA频谱监测网络的规划和优化

#### 3.1 现有一般方法的主要原则

《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节中给出的方法基于对四个不同监测覆盖区域的计算和后续分析。这些中的每一个都需要不同程度的监测接收机灵敏度。前三个功能是：

- 监听（在最大、最远距离上的接收机灵敏度）
- 辐射特性测量（在较低水平、较小距离上的接收机灵敏度）
- 测向-测向（在最低水平、最小距离上的接收机灵敏度）。出于比较的目的，《国际电联频谱监测手册》（2011年版）表6.8-1假定了以下在各覆盖区域边界上的场强阈值：
  - 0 dB ( $\mu\text{V/m}$ )，用于监听；
  - 12 dB ( $\mu\text{V/m}$ )，用于辐射特性测量；以及
  - 20 dB ( $\mu\text{V/m}$ )，用于测向。

出于规划的目的，依赖设备特性以及用于测量辐射特性的方法（将用在SMN中），有可能采用其他的边界场强值。对每个SMN站而言，这些覆盖区域是独立的，将之合并在一起，将分别给出各监测功能总的覆盖区域。

区域的大小本质上取决于区域（在当中设立SMN）的地形、站天线的高度以及待监测发射机的功率和天线高度。ITU-R P.1546-5建议书附件5提供了一个恰当的无线电波传播模型。在第1.1节中，它描述了一种特殊的计算方法，为监测目的，建议用此方法。ITU-R P.1812-3建议书以及一些其他的传播模型（参见上面第2节）也可以使用。

《国际电联频谱监测手册》（2011年版）表6.8-1提出了三种天线较低的低功耗“测试发射机”的类别，可用于SMN的建模、仿真和规划。

这些e.i.r.p.类别如下所述：

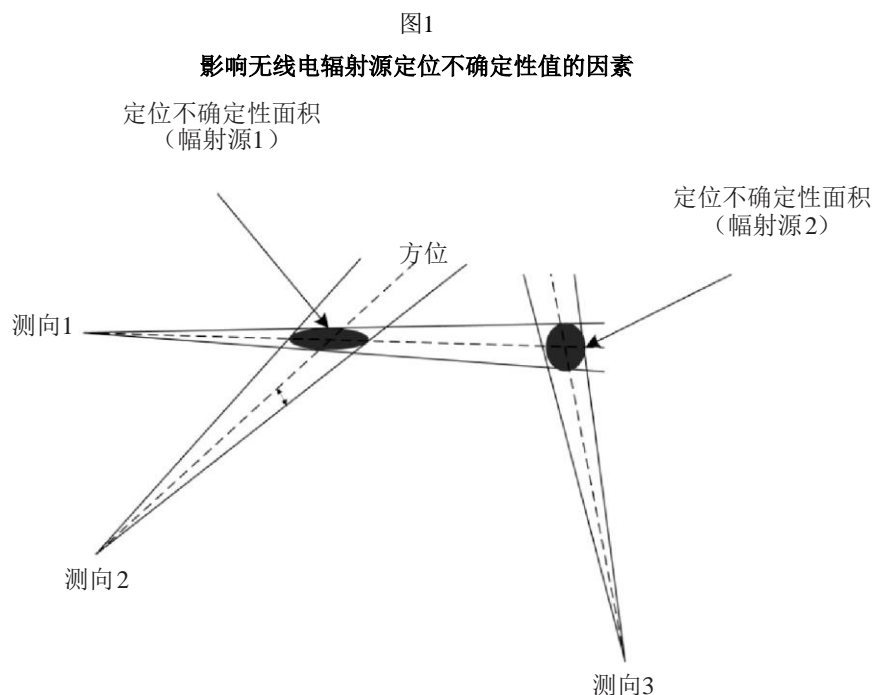
- I类  
功率10 W，天线高度1.5 m（专用移动无线通信（PMR）发射机装载于轻型车辆上）。
- II类  
功率10 W，天线高度20 m（专用移动无线通信（PMR）基站、低功率广播发射机、电视转发器）。
- III类  
功率20 W，天线高度40 m（如II类相同的发射机类型，但功率更大、天线更高）。

SMN显然将会以更高的天线高度来更有效地监测强大的发射机。

第四个监测功能是定位。定位覆盖区域对SMN中固定站的拓扑结构而言是至关重要的，它基于三角测量，对应SMN中至少两个站的重叠的测向覆盖区域。随着站与站之间的距离增加，重叠的测向区域的大小（即定位覆盖面积）将迅速减至零。定位覆盖区域的一个特性是，在该区域内，定位不确定性（或准确性）可变化很大，这不是通常其他三个监视功能的情况。在区域内，它有时会变化很大，形成一个所谓的“定位覆盖样板”（LCT），在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第4.7.3.1.4中对此有详细描述。

在LCT的任何点上，定位不确定性值取决于很多因素，最主要的因素如下所述（参见图1）：

- 在三角测量中所用的测向仪的测向方位不确定性值，其结果是创建以下扇区，即在这些扇区中，按角度来分布各条方位线；
- 从测向仪到方位线分布扇区的交叉区域的距离；
- 方位线分布扇区的交叉角。



SM.2356报告-01

因此，LCT是最关键的因素，在规划SMN过程中，必须考虑到这一点。不论对整个SMN来说，还是对其不同的部分来说，LCT也是最好的质量指标。

固定站总的测向覆盖区域对规划而言至关重要，原因是在该区域中，这些站提供方位，它们将通过与固定站相互作用的移动站，来简化对辐射源的测向寻的。

根据《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节，在对某个重要的区域需要进行全覆盖监测的情况下（当中需要大量的固定站），可基于在ITU-R BS.944报告所述的规则网络理论，来规划一个适当的SMN。这种方法使我们能够创建一个SMN，其在农村地区的站与站之间需要相当大的距离，其在城区或工业区的站与站之间所需的距离则较小，当中依据监测情况的发射机密度会很高。

## 3.2 SMN的计算机辅助建模

基本步骤是：

- 1) 确定目标；
- 2) 评估现有站的监测范围；
- 3) 创建一个主规则网络；
- 4) 评估主规则网络中各站的监测覆盖范围，优化各站的数量及其特性；
- 5) 细分各个主网络单元，进一步优化各站数量及其参数；
- 6) 改善计算机模型中各站的位置和特性。

对这些步骤中的每一个步骤，都将做更详细的讨论。

### 3.2.1 确定目标

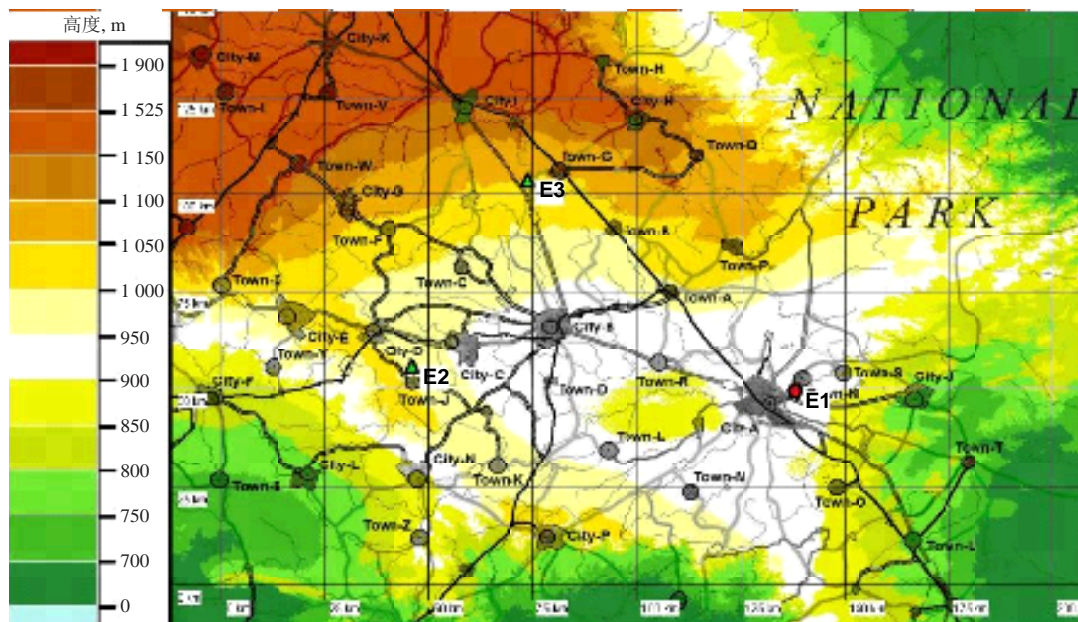
一旦有了这些，至少是初步的，即做出了关键的决定、收集了必要的的数据，那么就可以开始着手未来SMN的计算机辅助建模工作了。将用一个有关期望之SMN的特定例子来说明规划过程的各阶段。

让我们设想一下，主管部门希望依据可用的财政资源，在图2所示的人口稠密地区并结合其地形，来开发一个新的SMN。假定在所议区域已有三个固定站（E1-E3），配有相当现代化的设备（测向不确定性值为 $1^\circ$  r.m.s.），这些须纳入规划的SMN中，而不做任何升级。站E1和站E2的天线高度为30 m，站E3的天线高度为20 m，也没有任何改变计划。

还假定，决定对所有的监测功能确保全覆盖，包括对类II测试发射机（即功率为10 W、天线高度为20 m）定位所议的人口稠密区域。此外，对位于城市A和城市E之间的经济最发达的区域，至少对类I发射机（即功率为10 W、天线高度为1.5 m）的测向功能要实现全覆盖。据估计，未来的设备将确保测向精度为 $1^\circ$  r.m.s.。

图2

现有三个站涉及的面



SM.2356报告-02

因此，出于计算机建模的目的（参见图2和图3），我们有以下初始条件：

- 1) 现有SMN – 3个固定站（E1-E3）：
  - 站E1 – 天线高度30 m；
  - 站E2 – 天线高度30 m；
  - 站E3 – 天线高度20 m；
  - 测向不确定性值 –  $1^\circ$  r.m.s。
- 2) 新的SMN要求：
  - 对有人居住的区域部分，以全监测功能进行全覆盖，包括定位类II发射机（功率10 W、天线高度20 m）；
  - 全覆盖城市A和城市E之间的区域，至少对类I发射机的测向（功率10 W、天线高度1.5 m）；
  - 测向不确定性值 -  $1^\circ$  r.m.s。

### 3.2.2 最初的SMN建模

#### 3.2.2.1 评估现有站点的监测范围

借助计算机软件，至少以《国际电联关于频谱管理的计算机辅助技术手册》（2015年版）第5章中所述的特征，为不同的监测功能计算现有各站的覆盖区域。

对此处所议的例子，所有现有站有关监听、辐射特性测量和测向的覆盖区域如图3所示，对定位（LCT）的覆盖区域如图4所示。对450 MHz和类II测试发射机进行计算。在下面所有后续的计算中都使用该频率，除非另有规定。图3中的绿色区域对应最敏感功能（监听）的覆盖范围，粉红色区域表示辐射参数测量中不太敏感的功能的覆盖范围，黄色区域指示的是测向覆盖范围，对应的是最不敏感的功能。为以50%的概率在对应的不确定性椭圆中

定位成功所寻的发射机而计算LCT（参见《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第4.7.3.1.4节）。

联合测向覆盖区域的边界（如图4中黄色所示）通过图4中的红线来追踪，而在图3中，红线代表的是通过组合图4中的彩色区域而给出的LCT边界。

图4显示，现有站（即使是类II测试发射机）提供的定位覆盖范围也远不能满足给定的要求。

在这种特殊情况下，结论是显而易见的，即使没有任何详细的计算。然而，在其他情况下，当目标是优化现有的、相当密集的SMN时，这样的计算是至关重要的，并可在计算机辅助建模中作为后续步骤的基础。

图3

现有三个站总的监测覆盖区域

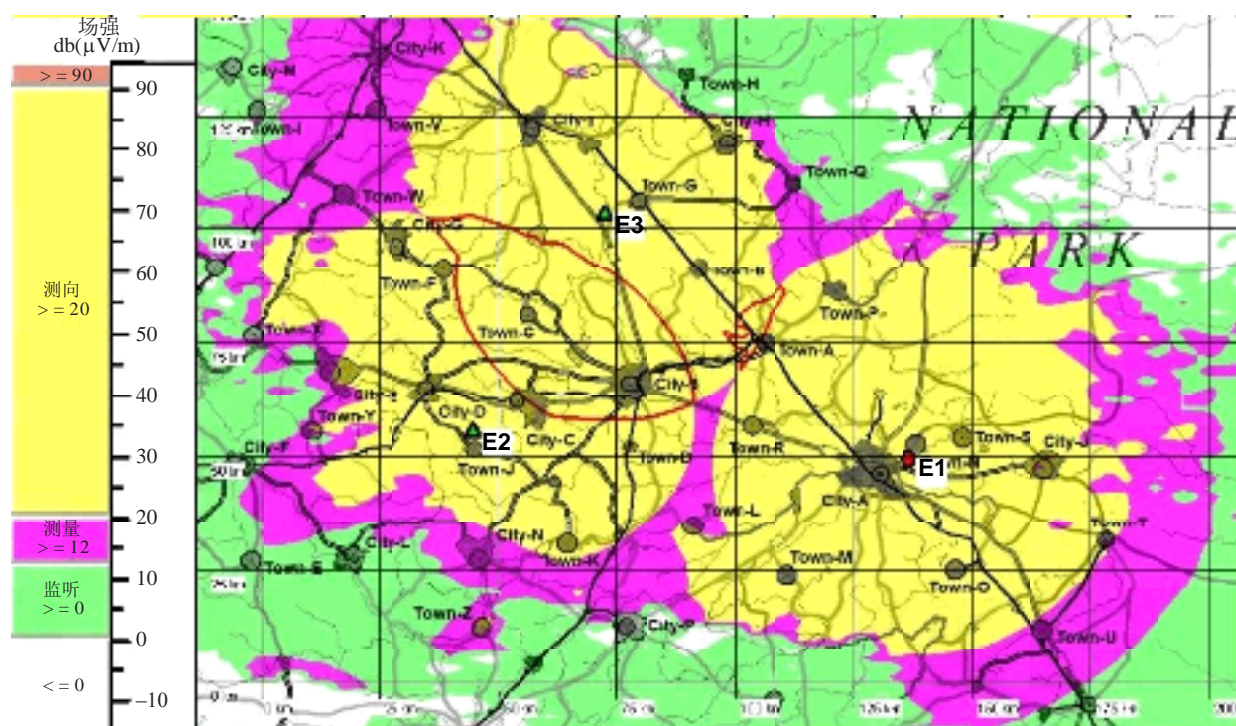
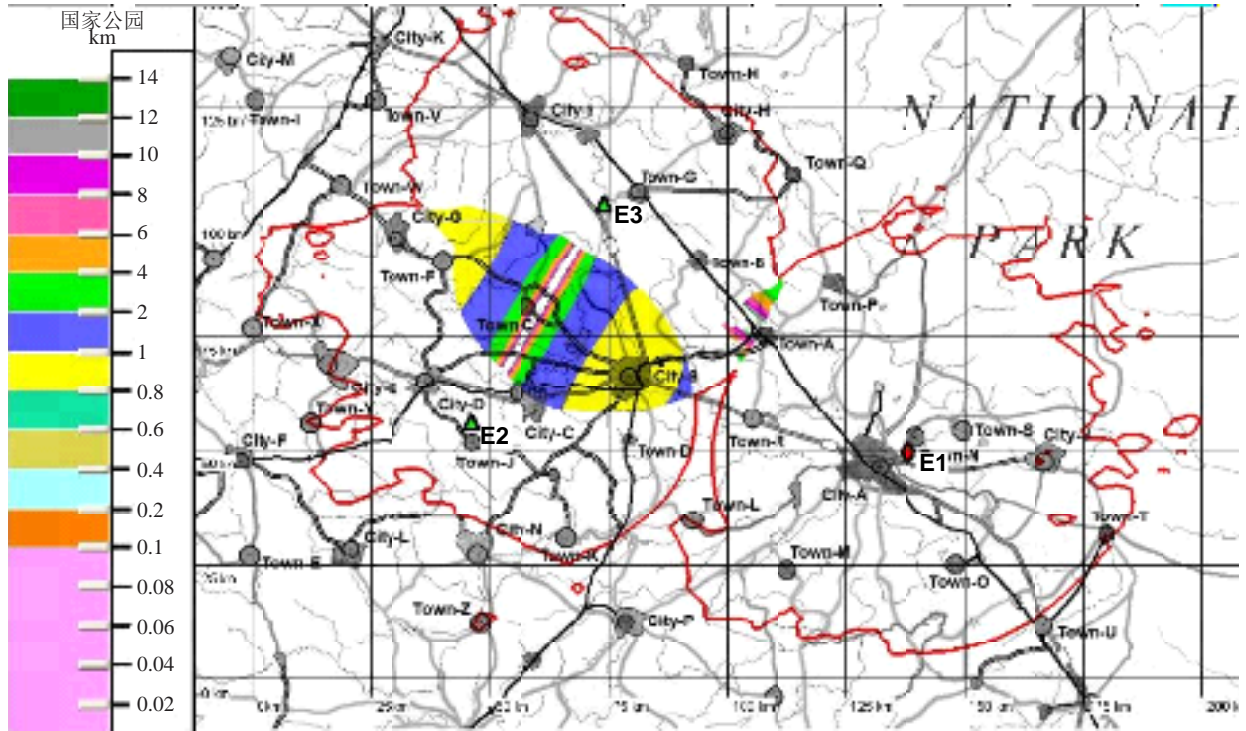




图4

现有三个站的定位覆盖范围样板



SM.2356 报告-04

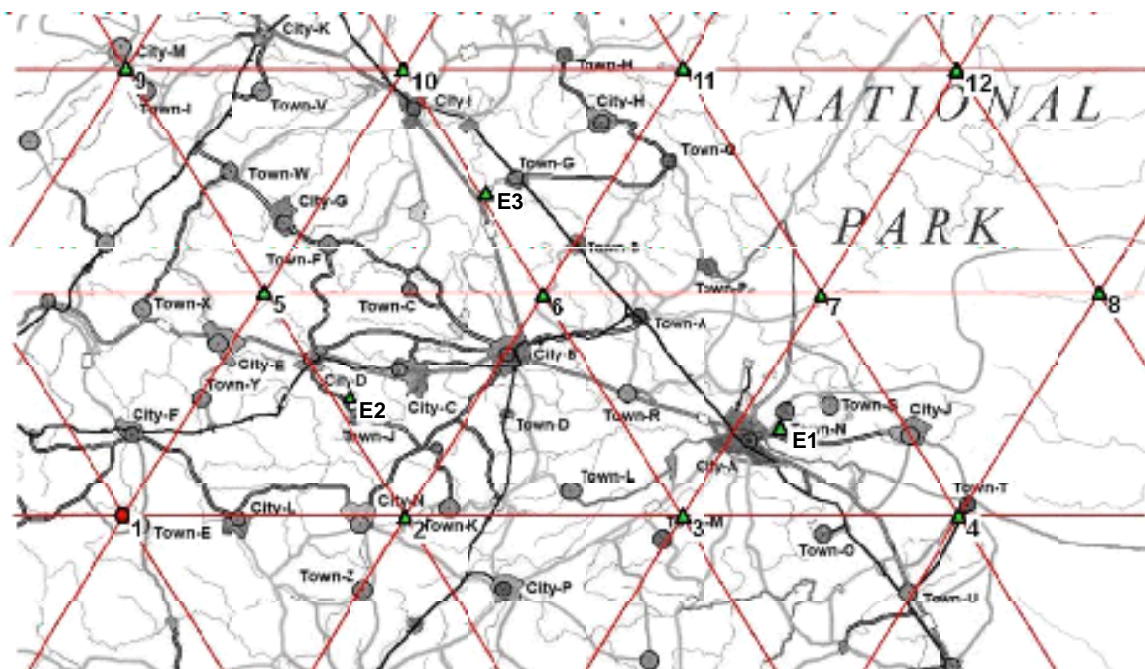
### 3.2.2.2 主规则网络的叠加

主规则网络叠加于正在考虑的区域上，节点与节点之间的距离为60 km。监测站几乎位于网络节点上。为安排这种与人口中心和其他地理目标有关的规则网络中的节点，有许许多多的不同选择方案。例如，这些节点可以安排得与现有站相一致或相接近，或者依据监测情况置于最感兴趣的区域周边。

假设决定按照上面选项中的第二个选项来安排网络节点，将其置于如图5中所示的、包括城市A-城市E的区域周边，虚拟地将12个额外的站置于网络节点上。现有站靠近次规则网络元素节点，节点与节点之间的距离为30 km，在第3.2.2.4节对之进行了分析。

从图5可以看出，考虑经济利益，对站8和站12可以不再做任何进一步的考虑，原因是它们位于国家公园区域内，该区域没有任何人口中心，因此不需要通过固定站进行监测。

图5  
主规则网络



SM.2356报告-05

### 3.2.2.3 评估主规则网络各站点的监测范围；优化站点数量和特性

然后，继续进行下一个步骤，对位于主规则网络节点上的各站以及各现有站的不同监测功能，计算覆盖区域。如果在此阶段有可能这么做的话，该过程的结果将用于进一步优化站的数量。

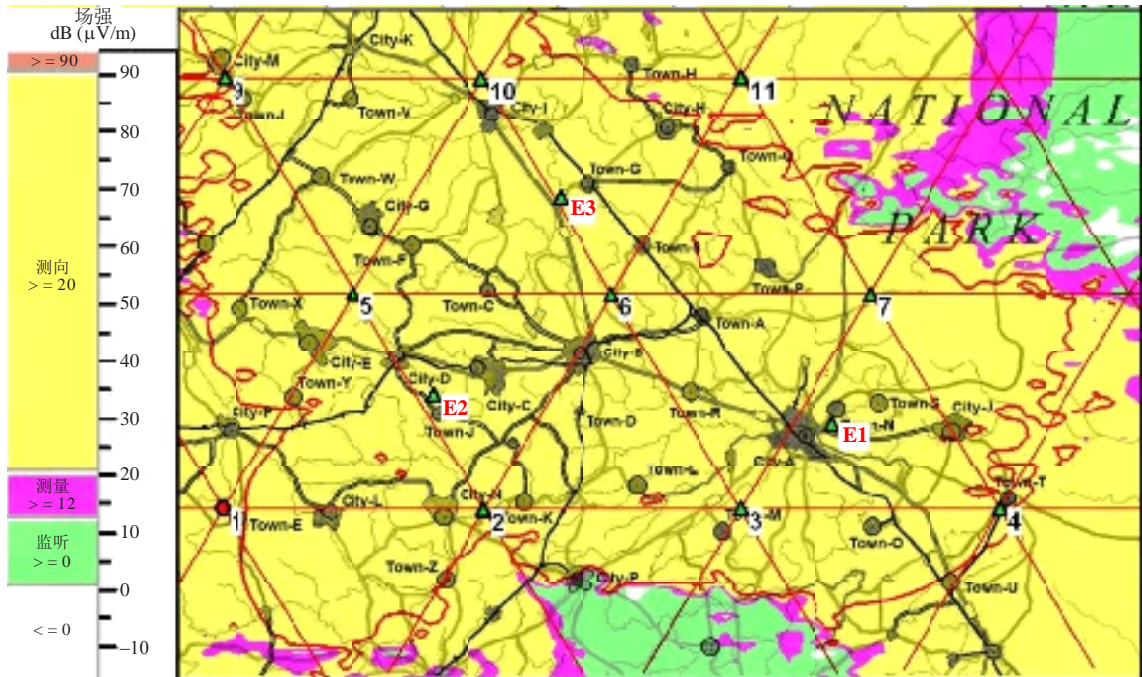
图6显示，计算结果用于确定类II测试发射机不同监测功能的覆盖范围，所有新站的天线高度为30 m，而图7显示的是对应的LCT。从图7可以清楚地看到，利用此数量的站和所规划SMN的配置方案，对类II测试发射机几乎完全可以实现全定位覆盖。从图7还可以清楚地看到，站11对邻近区域的定位覆盖作用不大，可予排除，以便降低系统成本。站7服务于国家公园边界上的人烟稀少地区，也可以排除之。如果需要进一步降低成本，那么可考虑排除站4，它也位于国家公园的边界上。

图8显示，站11、站7和站4已从有关类II测试发射机的主规则网络监测覆盖范围中除去。除去站4导致城市J失去定位服务，尽管城市J仍被测向所覆盖。然而，从图9可以看到，城市J将拥有类III测试发射机的定位覆盖。图9显示了在区域的东南部和西南部拥有了更好的定位覆盖，在此区域现包括更多的城市和城镇。



图6

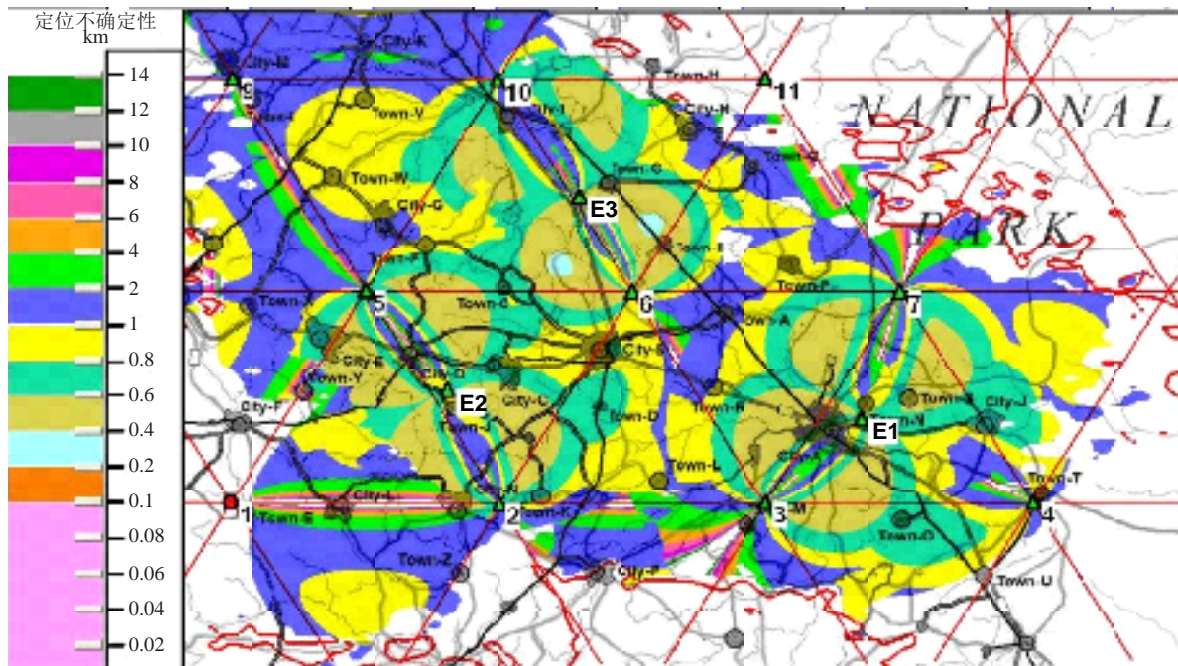
有关II类测试发射机的主网络的监测覆盖范围



SM.2356报告-06

图7

有关II类测试发射机的主网络的定位覆盖范围样板

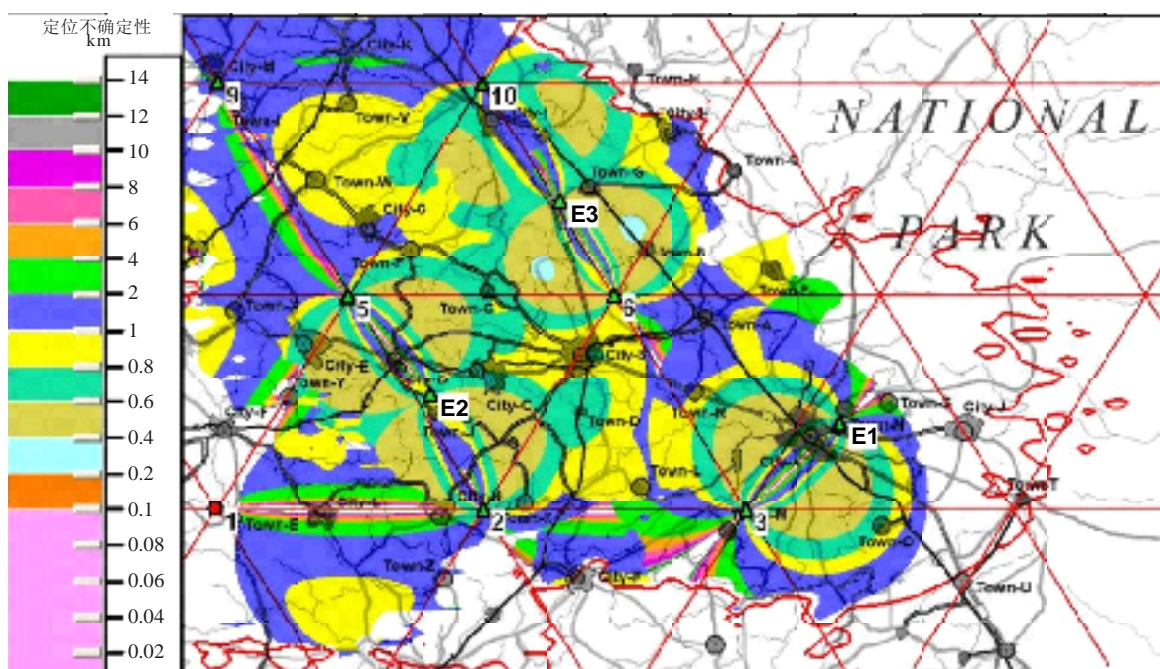


SM.2356报告-07



图8

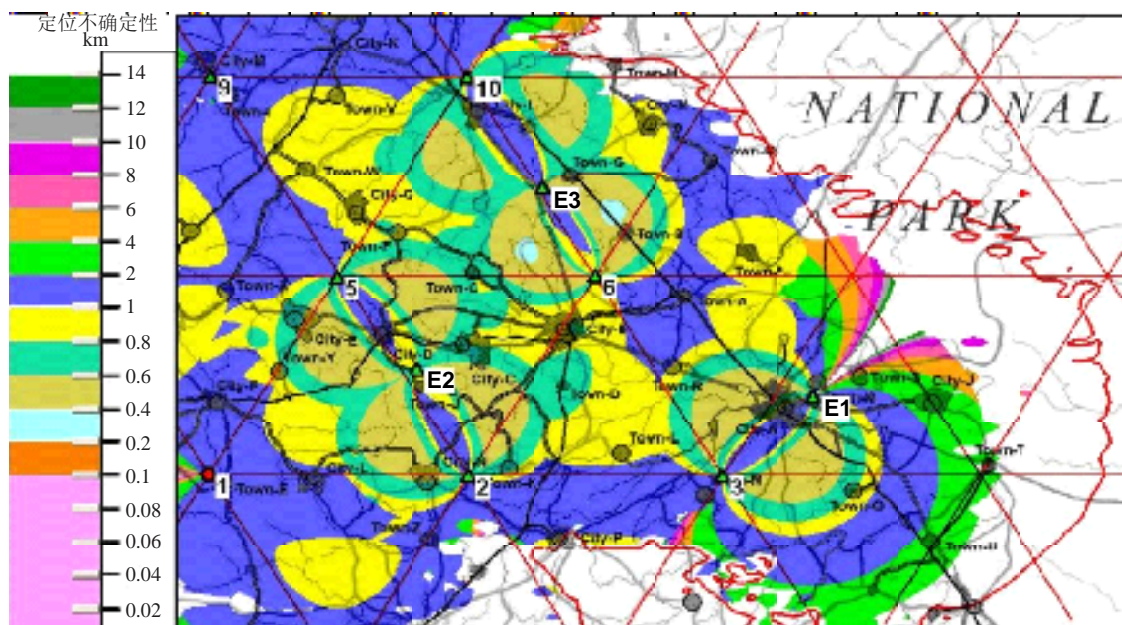
有关II类测试发射机的主网络（减去站4、站7和站11）的定位覆盖范围样板



SM.2356报告-08

图9

有关III类测试发射机的主网络（减去站4、站7和站11）的定位覆盖范围样板



SM.2356报告-09

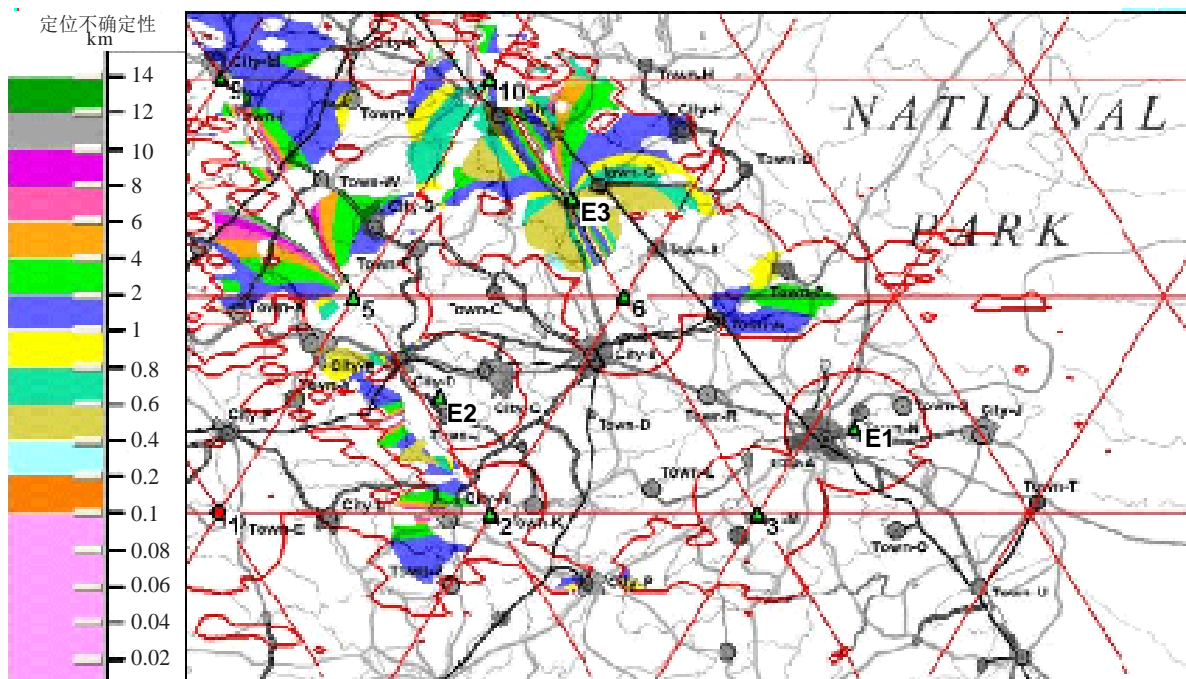
利用这些数据，主管部门可以决定在规划的SMN中是否要保留站4。决定可以推迟到完成好整个SMN规划（参见后续阶段）、确定好站的总数以及预算好可用的和预期的资金后来做出。不在SMN发展的第一阶段纳入本站，相反地，将之留给后续阶段，可能更好。

如果比较图8和图9，可以有趣地看到，大幅提高类II和类III测试发射机的功率和天线高度，对增大该区域东北部和南部（分别在城镇H和城市P周边）的覆盖范围影响很小。在第一种情况下，这是急剧降低区域平均高度的结果。在第二种情况下，这是提高区域平均高度的结果，如图2所示。没有适当的计算显然不能详细确定这些显著的影响。

有关类I测试发射机的SMN（减去站11、站7和站4）中的测向和定位覆盖范围如图10所示。显然，就类I测试发射机而言，SMN未能实现对城市A和城市E之间的区域实施更详细监测的目标。因此，需要提高所议区域内主网络的密度。

图10

有关I类测试发射机的主网络的定位覆盖范围样板



SM.2356 报告-10

### 3.2.2.4 细分单个主网络单元，并进一步优化站点数量及其参数

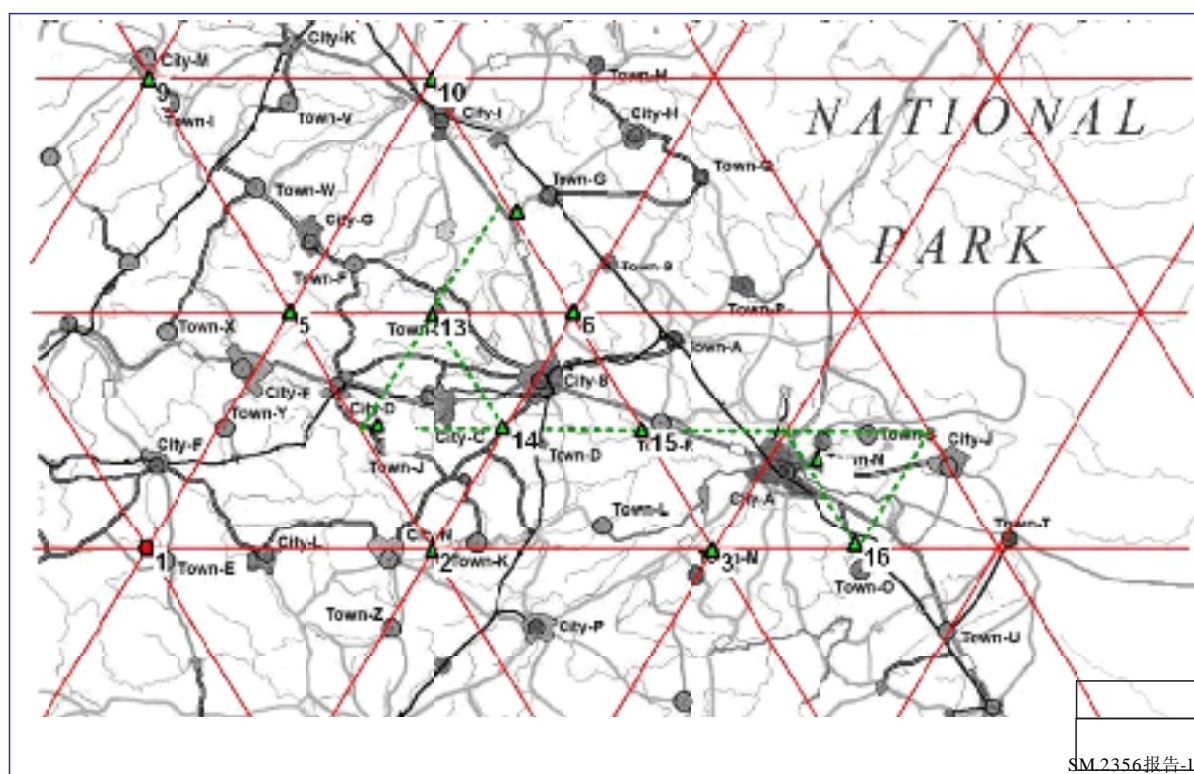
为了提高这部分SMN的密度，对主网络中的各三角形单元都可细分为四个三角形的次网络单元，站与站之间的距离为30 km，并应在所有或部分新的单元节点上安置额外的站。

在此处考虑的例子中，一个可能的选项（在经济上，它看起来最优）如图11中的绿色虚线所示。

由站2、站5和站6括起来的一个主三角形被细分为四个次三角形，对此只需要两个新的站（站13和站14），原因是，现有的站E2被用作第三个站。对其他四个主三角形中的每一个三角形，只定义了一个次三角形，对当中的三个主三角形，使用现有的站E1和站E3。



图11  
带有次网络元素的主网络



对类I测试发射机，在此更密集的SMN中的联合测向覆盖范围如图12所示，定位覆盖范围如图13所示。从这些图可以清楚地看到，因此而获得的SMN在本质上满足了所述的要求，虽然在城市B的东南部有一小块区域仅具有辐射特性测量的覆盖范围（在图12中以粉红色显示的区域）。另一方面，从图14可以清楚地看到，对类I测试发射机而言没有测向覆盖范围的这些区域，将在使用功率为10 W、天线高度为5 m的测试发射机后消失（单层建筑，2 m高的天线置于其屋顶上）。

如果希望缩小这些区域（缺乏类I测试发射机的覆盖范围）的大小，那么必要的话，未来站3和站15以及现有站E1的天线高度可提高至50 m。图15显示了当这些站的天线高度提高至50 m时的、改善后的监测覆盖范围。

图13清楚地说明了地形对监测覆盖范围的影响。位于连接站5、站13和站6之直线北部的地区，被测向和定位的覆盖情况明显优于直线南部地区，尽管监测站的密度要低得多，包括在该地区新的监测站。这是由于以下事实，即所议地区的北部在高地上，而中心部分在一个山谷中（参见图2）。除了通过特别的计算，该地区这种特定的监测覆盖特性也无法通过其他方式来确定。

在这些特别的地理条件下，就类I测试发射机而言，对定位功能，北部地区可得到更好的服务。考虑到这一点，主管部门可能希望确保城市A和城市E之间的中心区域能有相同的覆盖范围。这可以通过两种方式中的一种方式来实现。首先，可以尝试将几个主要的三角形细分为四个次三角形——例如，由站2、站6和站3括起来的各三角形，以及由站6、站3和之前被排除的站7括起来的各三角形，并在这些次三角形的众多节点上安置额外的站。然后，计算显示，这不是一种有效的解决方案。

第二个选项更加有效和普遍适用。它涉及将位于城市A与城市B之间的某些次三角形（站与站之间的距离为30 km）细分为三级三角形单元（站与站之间的距离为15 km）。这使得能够消除某些主网络站，如站2和站3，以及次网络站16。区域最南端的覆盖状况某种程度上将比之前更糟，但考虑到相对较低的人口密度，这可被认为是一个可接受的损失。

图12

有关I类测试发射机的密集SMN的监测覆盖范围

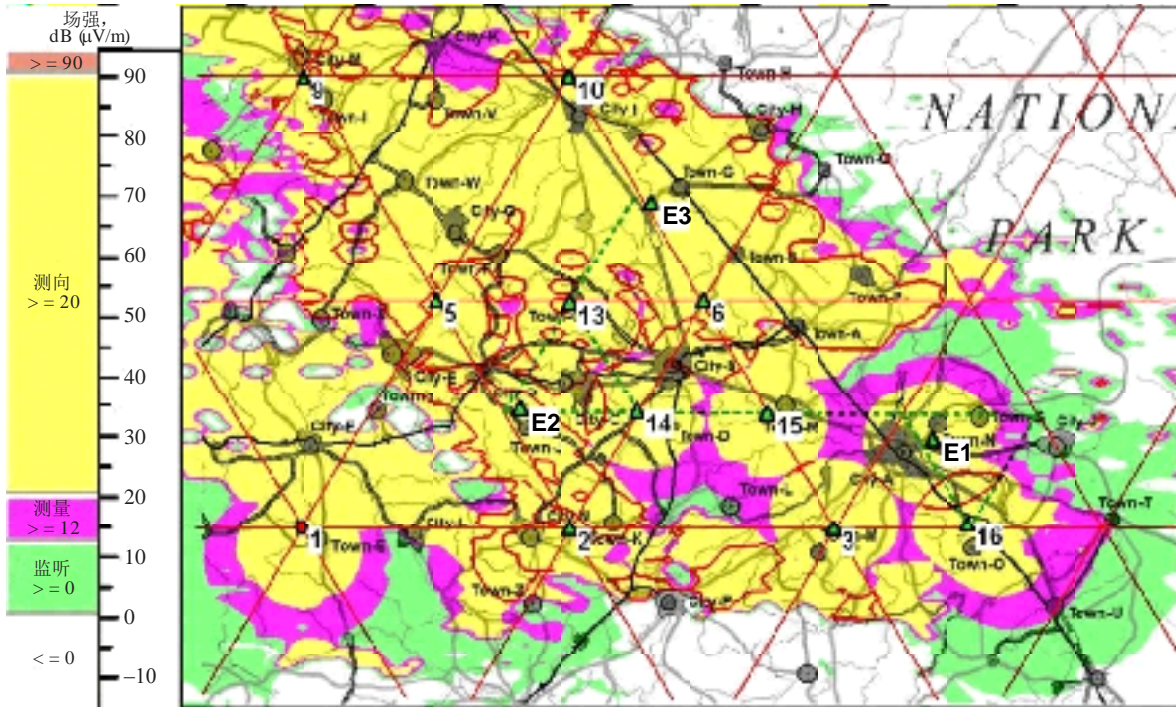
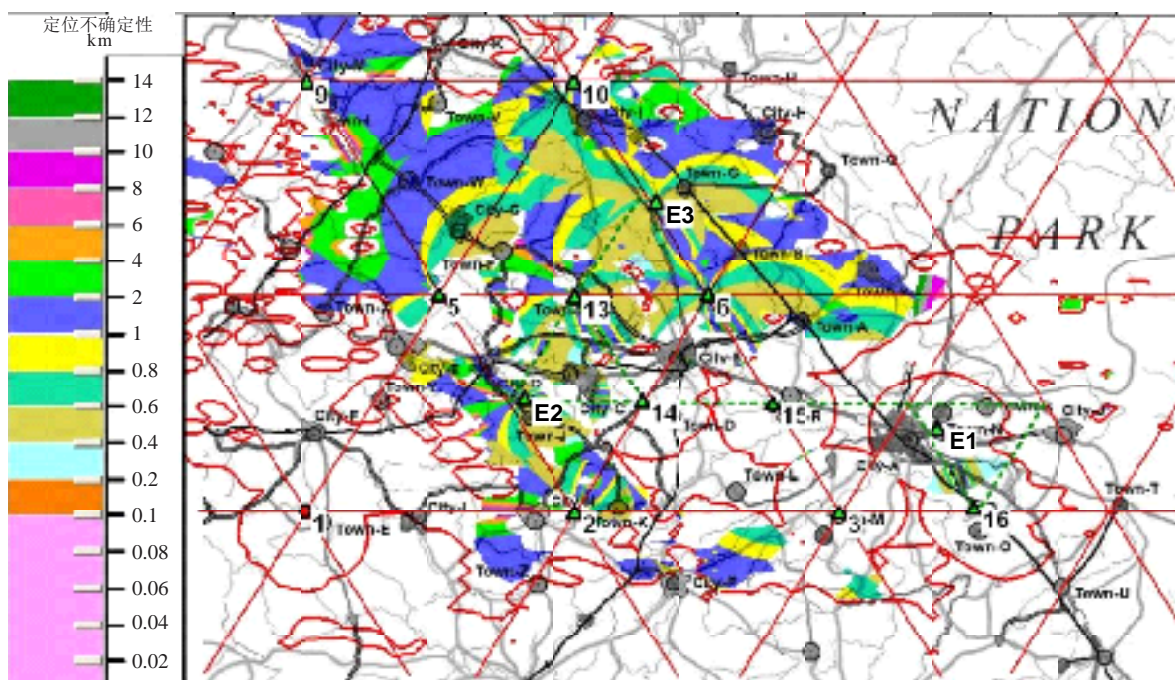




图13

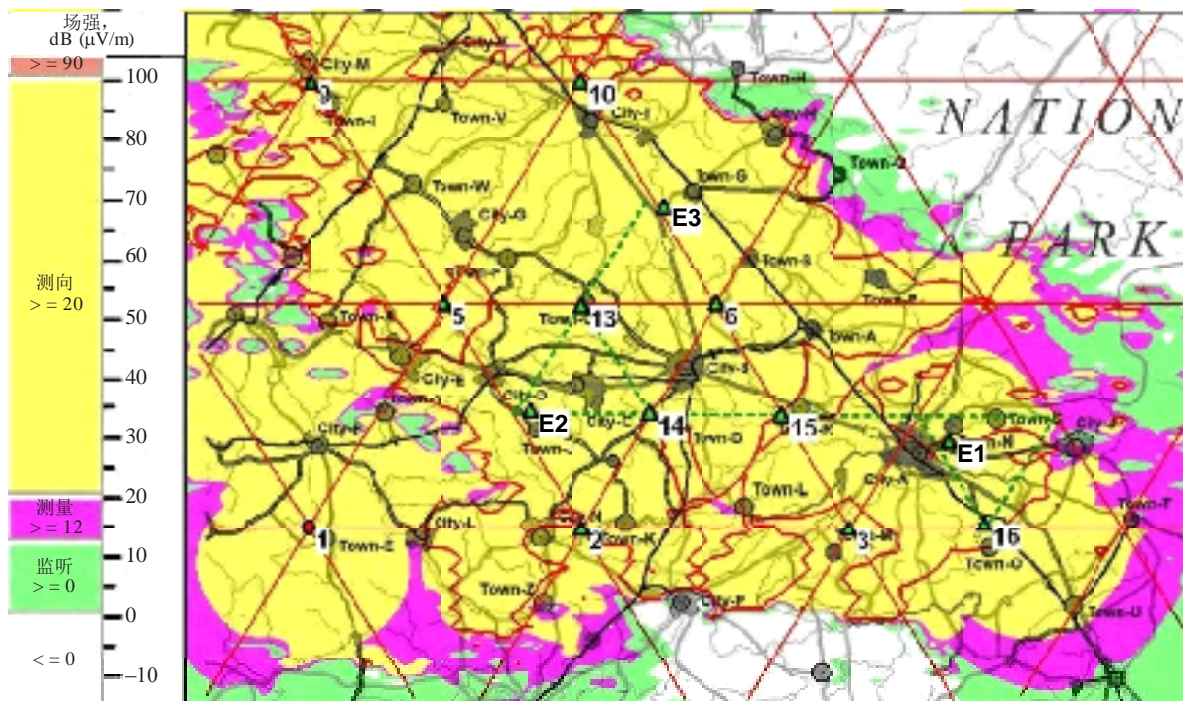
有关I类测试发射机的密集SMN的定位覆盖范围样板



SM.2356报告-13

图14

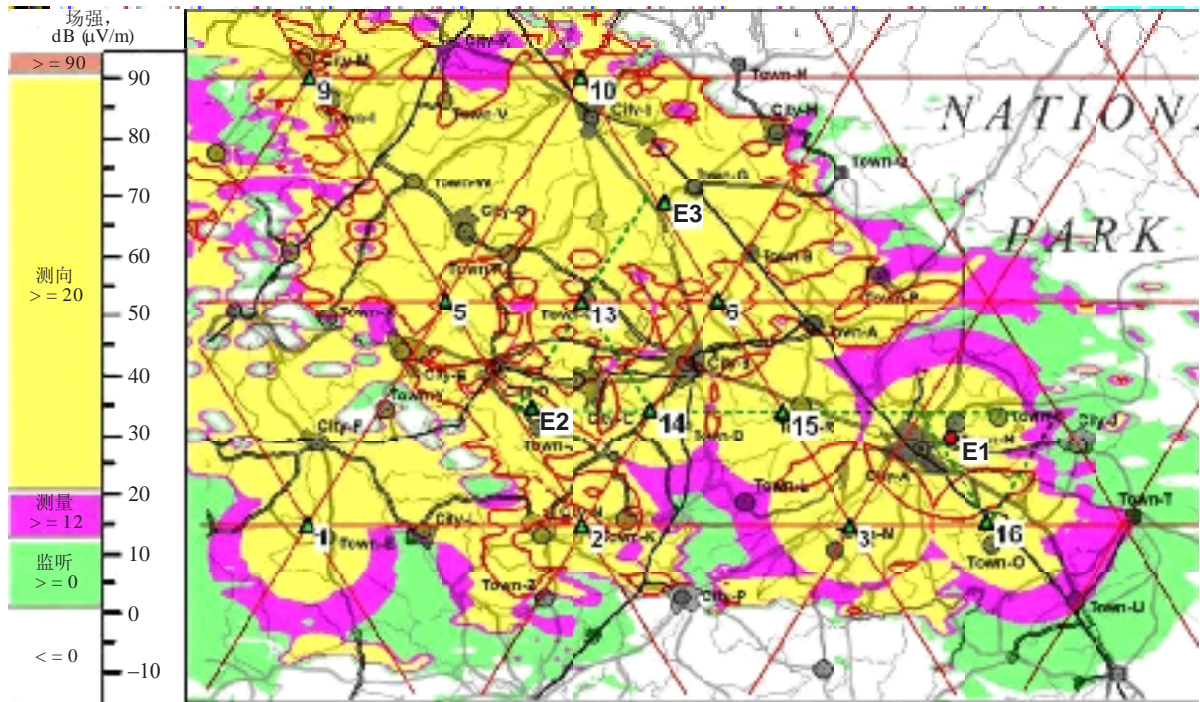
有关10 W测试发射机（天线高度5 m）的密集SMN的监测覆盖范围



SM.2356报告-14

图15

当站3、站15和站E1的天线高度提升到50 m时，有关I类测试发射机的密集SMN的监测覆盖范围



SM.2356报告-15

从上面可以看出，原则上，有许多可能的解决方案，但通过计算覆盖范围，可以很容易地对每一个解决方案做出分析，以确定主管部门可以接受作为最佳方案的那个特定方案。

上面各图及其分析结果清楚地表明，LCT是关于SMN质量的最好指标，不论是对SMN整体而言，还是对其各组成部分而言。

### 3.2.3 改善计算机模型中各站的地点和参数

一旦做出关于SMN配置方案的初步决定，那么就可在一个计算机模型中定义所需的参数和站的位置。

首先，需要确定计划执行所有监测功能的站。一般来说，站可以归为三个类别中的一个类别：有人值守站、遥控站，或者只有测向功能的站（只能遥控这些站）。可以看到，在主网络中（站与站之间的距离为60 km），几乎所有的站都必须执行所有的监测功能，否则会有区域不被辐射特性的测量功能所覆盖，或者甚至不被监听功能所覆盖。在次网络中（站与站之间的距离为30 km），一些站可能只具备遥控测向功能。

例如，计算表明，在此处考虑的SMN例子中，站6、站13和站16可以是遥控的测向仪。在三级网络中，站与站之间的距离为15 km，许多站可以是遥控的测向仪。SMN的密度越大，则更多的站可以是遥控的测向仪。

为了确定哪个站可作为遥控测向仪，需要为位于一组其他站内的某个特定站的辐射参数测量功能计算覆盖区域。在当前的例子中，可以看到，这为粉红色的区域，黄色的测向覆盖区域位于其中心。然后，需要确定这些站中的哪个站以离其外边界合理的距离，落在该区域的边界内。



这些站可被看作是潜在的遥控测向仪，可通过计算其各自的覆盖区域来确认。

在该阶段，它也有助于确定哪些执行所有监测功能的站必须有人值守，以便有效完成后续的现场勘测（参见下面第3.3节）。希望将各有人值守站置于大城市中或置于大城市附近，以便确保提供合格的人员和基础设施。

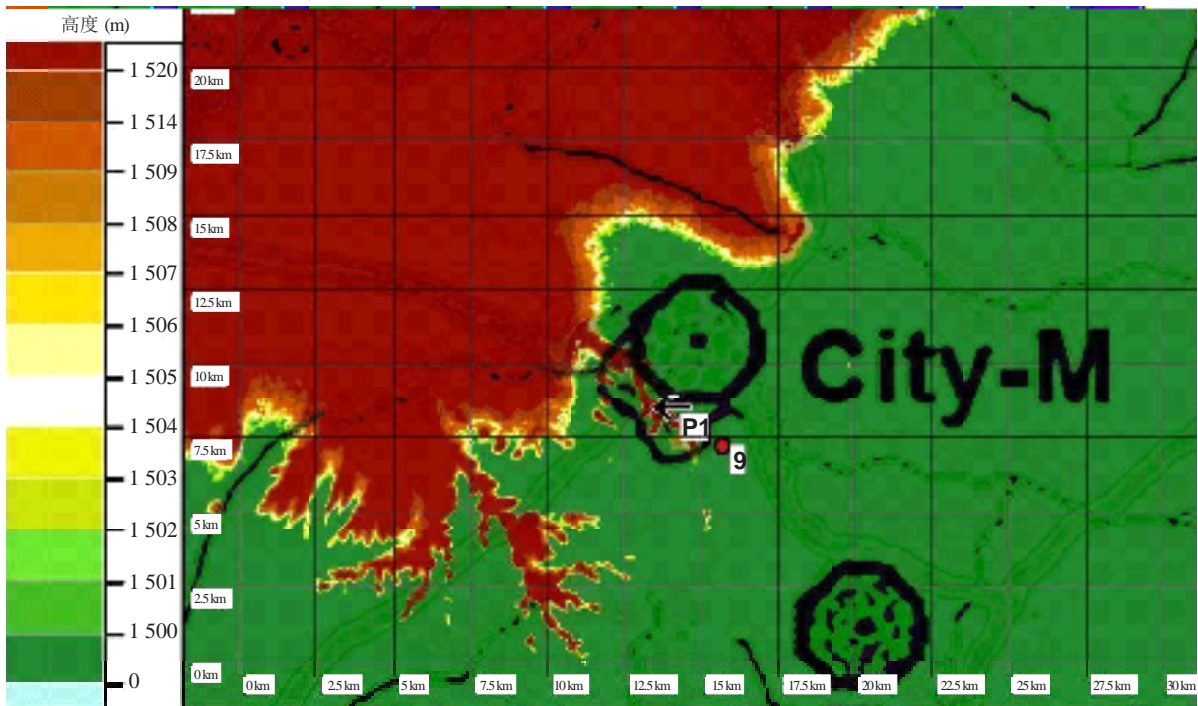
此外，也必须考虑到，现代信息技术使以下成为可能，即利用放置于城市之外的、集装箱化的遥控站设备和天线，可将一个站运营中心置于非典型的城市周边地区。该解决方案简化了寻找合适地点的任务，能够显著减少有关土地征用、施工和安装的成本。然而，如果将运营中心置于市区的一幢高楼内，那么可以将天线安装于屋顶上，这将省去为此目的而需征用一块土地的麻烦。然而，应该记住的是，有人值守站必须具备存放移动监测站和便携监测站所需的空間，如车库或永久的停车位。

有人值守的站与站之间的距离不应超过600 km，它基于以下考虑，即在工作日期间，移动站有望为离其基站不超过300 km的各点提供服务（且道路要好）。

即使在计算机建模阶段，现在也有可能对站的参数和站址进行优化。例如，可用连续计算来确定各站的监测覆盖区域，不论是单个的站还是全体的站，从而优化其天线高度。当SMN密度较大时，某些站的天线高度可从30 m（基于最初的计算结果）降至20 m，在某些情况下，可将至10 m，这使得主管部门能够节省天线桅杆的费用。在其他站的情况下，为了增大其覆盖区域（若需要这么做的话），可将天线高度提升至50 m，在许多情况下，通过将天线移至更高的地方，而不是通过增加天线桅杆的物理高度，可以更有效地达成此目的。这需要对之前确定的站址周边的地形进行详细研究，以便在更高的地方确定合适的区域。

作为一个例子，图16显示了站9附近的、经放大的地形视图。它清楚地显示，在指针P1处，离计算得到的站址仅约三千米的距离上，在远处有一个区域向西北延伸。相比计算得到的站9的站址，站址P1大约高出20 m，因此，把站9移至高地将大幅增加其监测覆盖区域，即使是用高度降低后的天线桅杆。图16显示，在站9点以西有许多其他高地，因而通过重新定位，可有许多可能的方法来拓展站的监测覆盖区域。

图16  
站9周边的地形

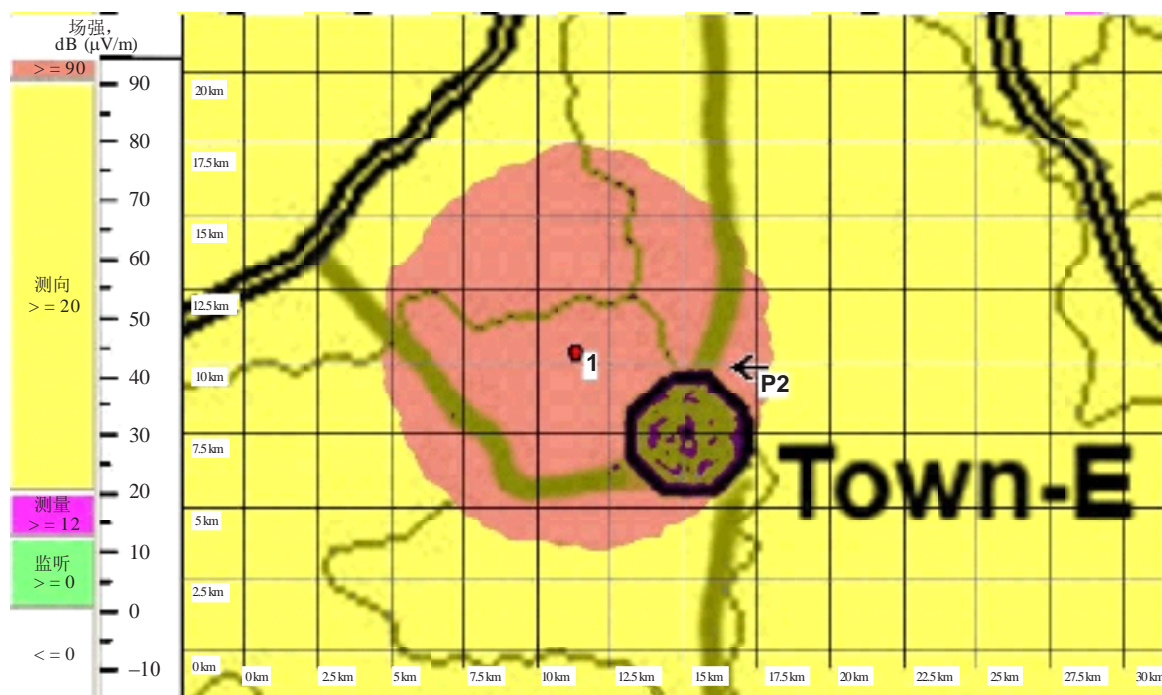


SM.2356报告-16

此外，考虑到在所议区域中收集的数据（参见上面第2节），可依据ITU-R SM.575-2建议书和《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第2.6节，对模型中每个站的虚拟位置进行检查，并对之进行优化，以免受附近建筑物和其它设施的干扰和有害影响，。

例如，考虑一个500 W无线电广播发射机的情况（工作频率110 MHz、天线高度50 m），将按照国家频率分配注册部门的要求，置于图17中指针P2所指示的站址上。如果计算与某个测试发射机给定参数有关的、站1的覆盖区域，边界场强为30 mV/m，即90 dB( $\mu$ V/m)，那么可以发现，发射机位于此区域内（如图17中棕色部分所示）。因此，在站1的站址上，它将产生一个超出允许水平的场强（参见《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第2.6节）。为了克服该问题，站1必须向西至少移动约1.2 km。

图17  
站1的干扰保护区域



SM.2356 报告-17

同样，也必须基于有关这些特性的可靠数据，对模型中的其他站的位置进行检查，以确保其离高压输电线路、电气化铁路线路、高的金属桅杆等的距离超出规定的最小距离。如果必要的话，模型中的各站可移至其他站址上，然后还需基于相应监测覆盖区域的计算结果，对之进行优化，如上所述。

所有这些工作的结果是提供一个完整的、关于规划之SMN配置的计算机模型，对之应通过现场勘查，做好进一步的细化工作。

### 3.3 在现场勘测和土地征用过程中对站点进行改善

对通过计算机辅助建模确定的所有潜在的监测站位置，都必须进行精心勘查，以确保其遵守ITU-R SM.575-2建议书和《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第2.6节给出的保护准则，并确保可完成创建必要的基础设施所需的建设工作。关于基础设施，第一个要求是确定保证电源供电和创建通行道路的可行性。

如果确实必要的话，可以使用未铺好路面的道路（“土路”），以便到达远程无人值守的、集装箱化的站。对有人值守的站，需要更大的筹划和铺好路面的道路，以及电源、水和排水设备。还应考虑到物理站点的全天安全，甚至集装箱化的站点的全天安全，在这种情况下，必须维持有某种最低水平的关键基础设施。

在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）附件1中，对一种可用于现场勘测和结果报告的适当方法做了详细描述。

现场勘测可发现，出于众多原因，在计算机模型中选择的这些站点位置不能在实践中使用。例如，它们可能无法满足免受干扰或外来影响之准则的要求，或者可能因难以提供必要的基础设施而不可用，等等。然而，在大多数情况下，最常见的问题仅是缺乏可供出售的合适站点。ITU-R SM.1392-2建议书中提到了在寻找合适的站点过程中可能遇到的困难。国与国之间的难度自然有所不同，这取决于特定的社会和经济条件、法律、行政法规等。

出于此原因，现场勘测过程可确定其他的、对实践而言是可用的和更合适的潜在站点。而后必须对其监测覆盖区域的计算实施控制。很可能是，为了在新站点上保持所需的无线电监测覆盖范围，需要提高天线的高度（例如）。而后主管部门必须决定是否需要提高天线高度、接受一个缩减后的覆盖区域，或者找到一个全新的站点。

由此可见，在大多数情况下，勘测某个给定的站点不可能一蹴而就，它需要重复进行，有时可能需要经过好几次后才能完成。这也需要重复计算监测覆盖范围，对选择最佳站址而言，其结果是至关重要的。

也许不可能在期望的站点附近为新的监测站找到一个适合的位置，其干扰水平低于《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第2.6节中建立的要求。如果是这种情况，那么应考虑以下位置，即可以将干扰信号的场强水平降至最低（即使它们超过90 dB( $\mu\text{V}/\text{m}$ )），并避免使用有源天线单元（参见《国际电联频谱监测手册》第2.6.1.4节）。

只有当逐步推进现场勘测过程、完成覆盖范围计算和站点征用后，才可认为完成了SMN规划过程。而后才有可能按照《国际电联频谱监测手册》（2011版）附件1中所述的指南，进行招标以开展必要的土建工程和购置监测设备。

一旦完成SMN的规划工作，就可为不同的频率（假设随着频率的提高，覆盖状况将趋于恶化）以及工作于不同功率水平和拥有不同天线高度的测试发射机，最后详细计算监测覆盖范围。这些计算结果可用于编撰SMN的“监测覆盖范围集”，这将是其独特的技术“覆盖足迹”。“监测覆盖范围集”将清楚地指明在特定的条件和参数（频率、测试发射机功率、天线高度，等等）下缺乏覆盖范围的区域，在规划便携式和移动式监测站的运营时，这需要更多的关注。对破碎的地形或山区地形而言，这尤其重要。

这些最终计算的结果也有助于优化SMN中固定站、便携站和移动站的混合。一般来说，越多的站点不是由固定站来提供服务，则需越多的便携站和移动站来维持所需的SMN整体效能。在未被固定站覆盖的SMN区域（例如，在UHF频段的更高频率上以及在低洼地区），为完成各种各样的测量任务，可能需要设立移动站。这些便携站的最佳站址也可以通过相关计算提前确定。此外，必须为移动站提供更长的时间，以便在这些未被覆盖的区域开展工作。

### 3.4 小型和特殊的局域SMN的规划

#### 3.4.1 小型SMN和大城市SMN的规划

已经对规划和优化大型区域性SMN的过程做了考虑。另一方面，如果需要规划或优化小型、孤立的SMN（由两个或多个（不超过5个）站构成），那么可大大简化该过程。在这种情况下，开始时可以在计算机模型中、在方便的站点上设置虚拟的站，而无需建立一个规则网络叠加，然后对得到的SMN（开始于上面第3.2.2.3节中所述的阶段）进行优化。有关在相对平坦的地形上为局域监测网络进行的、实际的规划过程的例子，在附件1中予以陈述。

在大城市中，经多次反射，测向将被大大复杂化。为了改善测向的可靠性，因而也改善定位的可靠性，并允许监测大量的发射机和其他的辐射源，相比农村地区，在大城市中的固定站的站址通常靠得更近。出于此原因，在规划大城市中新的大型SMN或优化类似的现有SMN时，第3.2.2.2节中所述的步骤可以开始于用一个三级规则网络（站与站之间的距离为15 km）来叠加城市的某个区域，或者甚至用一个四级网络（站与站之间的距离为7.5 km）来叠加（参见《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节）。

用于规划小的和特殊的局域SMN的替代方法在下面的第6节中予以描述。相比规则网络所用的方法，它需要执行更多的计算，因此建议用此方法来规划相对较小的SMN。

### 3.4.2 在山区和丘陵地区中的SMN规划

在山区和丘陵地区，将固定站的天线置于高海拔上，有可能显著增大监测覆盖范围。同时，在这些情况下，监测覆盖范围可能对特定的位置选择会变得更加敏感。增加信号反射影响的可能性也应考虑在内。

对所有这些问题，在附件2中都做了详细考虑。

## 4 TDOA频谱监测网络的规划和优化

正在持续开发有关TDOA站全覆盖大面积区域的规划方法（类似于上面第3节中提到的、关于规划AOA站的规则网络的方法）。在《国际电联评估监测手册》（2011年版）第4.7.3.2章和ITU-R SM.2211-1报告中，给出了一些关于此问题的建议。

## 5 混合监测网络的规划

混合AOA/TDOA监测网络的规划基于同样的原则和问题，在上面关于AOA和TDOA网络的第3节和第4节中，已对之进行了描述。通过使用无线电监测网络、能够在设备上实现混合技术的测向和TDOA系统（设备达到或超过国际电联关于系统灵敏性、稳定性和准确性的建议书要求），可以获得显著的益处。相比只基于AOA技术或TDOA技术的网络，理论上，混合AOA/TDOA网络允许使用较少数量的站来覆盖更大面积的感兴趣区域，同时在频谱监测站所围绕的区域内和区域外，提供更高的地理定位精度。

### 5.1 地理定位方法比较

重要的是要了解不同地理定位方法的优缺点，以便做出明智的决定，确定哪些方法最适合某项特定的覆盖范围要求。在ITU-R SM.2211-1报告中，对AOA、TDOA和混合AOA/TDOA地理定位方法进行了详细比较。包括在该报告中的是一个表，它汇总了三种地理定位方法的主要特性。

## 5.2 地理定位覆盖范围和精度仿真

依据其地理定位覆盖范围和精度，对包括TOA、TDOA和混合TOA/TDOA的不同的频谱监测系统（SMS）配置进行了仿真和比较<sup>2</sup>。基于发射机功率以及使用3D地形的信号传播影响，使用一个软件工具（它结合了地理定位计算以及所考虑之不同站上目标信号的可测性），进行了分析。基于脱靶距离，对地理定位精度进行了评估。在各种不同条件下，进行了分析，如频谱监测网络中涉及的站的数量、发射机的功率（在1 W至100 W之间变化）、不同的传播条件和不同的地理定位技术。关于覆盖范围的假设，包括要求的、以各站为边界圈起来的区域之内的覆盖范围，以及要求的、以各站为边界圈起来的区域之外的覆盖范围。

基于仿真的覆盖范围要求和工作条件（ITU-RSM.2211-1报告），对3个站和4个站的情况，对一个较大的覆盖范围，使用混合AOA/TDOA技术可提供更好的精度。在由TDOA各站点圈起来的区域范围内，由TDOA站构成的系统可提供良好的精度，但在该区域外，地理定位精度将迅速降低。在仿真例子中，一个混合AOA/TDOA网络以一个TDOA站不那么复杂的设备/天线优势，发挥了各AOA站较大区域覆盖范围的优势（对某个给定的站数量而言）。

## 5.3 混合系统性能概述

相比只有TDOA的地理定位解决方案，对常见的广域覆盖范围需求而言，为获得相同的或更好的覆盖范围以及相同的或更好的精度，一个混合AOA/TDOA地理定位解决方案所需的站数量有望更少。混合解决方案结合了AOA系统的优点（更好的性能，即窄带信号、广域覆盖范围等）和TDOA系统的优点（更加易于安装、对天线的要求更简单、抑制不相关的噪声等）<sup>3</sup>。因此，在某些情况下，从网络的全寿命周期来看，对某个给定的覆盖范围，一个混合AOA/TDOA网络可提供更低的安装成本和更低的经常性成本。

## 6 用于规划小型和特殊的局域SMN的一般化方法

当正在规划监测站网络时，首先应决定哪些任务将通过该网络来解决。原因是，不同于AOA网络（最少2个站）或TDOA网络（最少3个站），在某些情况下，为监听与/或测量无线电信号的特性，1个监测站已足够。对这些情况中的每一种情况，通过要求的最小场强值来确定监测站的覆盖范围。

因此，如果假设未来的SMN必须解决若干任务，那么网络规划应首先用要求的最小场强值中的最大值，来解决该任务；然后，按其缩减次序：

- 1) 依据《国际电联频谱监测手册》，测向和估计发射机的位置（20 dB( $\mu$ V/m)）；
- 2) 依据《国际电联频谱监测手册》，测量无线电信号的参数（12 dB( $\mu$ V/m)）；
- 3) 依据《国际电联频谱监测手册》，监听频谱（0 dB( $\mu$ V/m)）。

---

<sup>2</sup> 用于本仿真的传播模型为TIREM——用于传播的地形综合粗糙地球模型（参见《国际电联国家频谱管理手册》）。

<sup>3</sup> 在ITU-RSM.2211-1报告第3节中可找到更完整的描述。

该行动序列将允许以最小数量的监测站来覆盖所调查区域，并将防止出现不必要的经济损失。

在准备阶段，上面第2节中提及的所有决定都应得到解决，包括定义要监测的区域、选择用于计算无线电波传播的方法、（为AOA/TDOA规划）确定关于发射机定位不确定性的最大可能值、计算最小场强的边界值、确定不建议安置监测站的区域，等等。

在下述方法中使用以下术语和定义：

**“AOA-链路”** — 两个监测站，利用AOA SMN中预定义的定位不确定性值，可用之来确定发射机的位置。

**“TDOA-链路”** — 三个监测站，利用TDOA SMN中预定义的定位不确定性值，可用之来确定发射机的位置。

**“覆盖的”测试发射机** — 测试发射机，其在监测站现场的场强大于阈值（要求的最小场强），且其定位误差（发射机的位置由AOA/TDOA监测站来确定）不超过预定义的最大定位不确定性值。

**监测站位置评分** — 位于研究区域中的测试发射机数量，安装在此位置内的监测站可覆盖此研究区域。

**“AOA-链路”评分** — 位于研究区域中的测试发射机数量，该“AOA-链路”可覆盖此研究区域。

**“TDOA-链路”评分** — 位于研究区域中的测试发射机数量，该“TDOA-链路”可覆盖此研究区域。

## 6.1 小型和特殊的局域SMN的计算机辅助建模

### 步骤1：为无线电监测站选择可能的位置

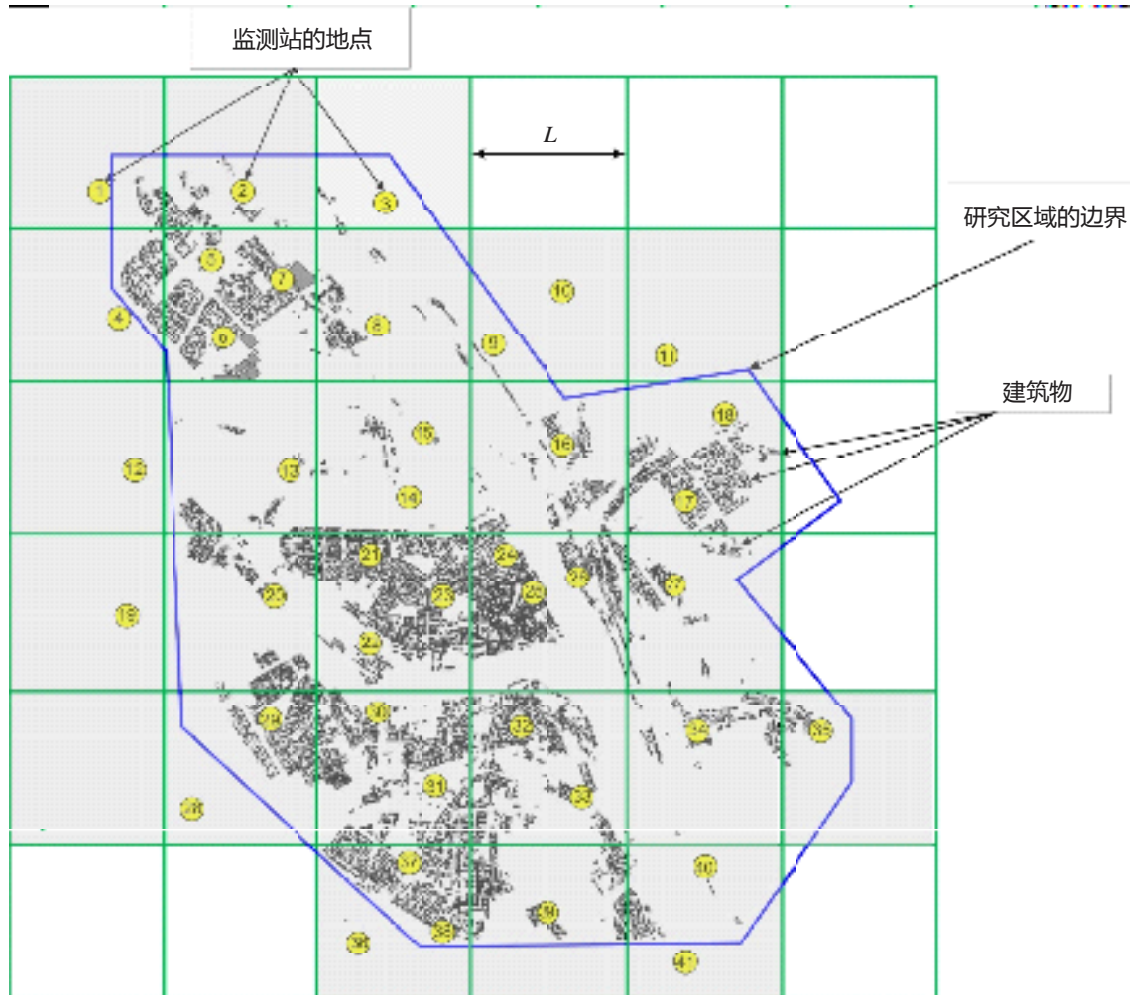
在确定需要监测的区域后，为未来的无线电监测站选择站址。为此，应用一个步长为  $L = 0.5 \dots 5$  km 的网格，以便覆盖研究区域以及周边地区。网格的步长越小越好，但它高度依赖于可用的计算资源。

在网格的每个单元格中，选择至少一个站址，潜在地可用于放置无线电监测站（在某些单元格中可能选择若干个站址）。例如，在城区，可以是高层建筑的屋顶，但在农村地区，可以是靠近道路的高地或者带有必要基础设施的地方（图18）。



图18

选择无线电监测站可能的地点



SM.2356报告-18

### 步骤2：施加“计算网格”

覆盖应被无线电监测所覆盖区域边界内的“计算网格”。相比其他外部物体，“计算网格”的步长必须不能太大。例如，为规划城区中的SMN，“计算网格”的步长可为5...50 m。测试发射机置于该网格的节点中。测试发射机的e.i.r.p.、平均高度和其它特性应对应实际的无线电台，这些都应置于控制下（图19）。

图19

“计算网格”的拼版（在户外辐射源的情况下）



SM.2356 报告-19

### 步骤3： 进行计算

计算所有选中站点的服务面积。如果研究区域部分地被现有的监测网络（将被升级）所覆盖，那么对所有的进一步计算，都需以这些站升级后的特性，对其覆盖范围进行考虑。每个监测站的覆盖范围通过以下条件来定义：

- 从每个监测站到某个测试发射机的最大距离（ $R_{max\_loc}$ ）由以下公式来定义（仅为规划AOA SMN，见图20）：

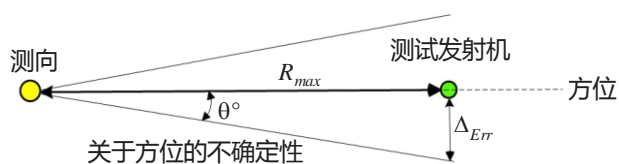
$$R_{max} = \text{最大定位不确定性} (\Delta_{Err}) / \text{正切} (\text{方位不确定性} (\theta^\circ)) ;$$

- 在选中的监测站位置中，计算得到的场强必须大于要求的最低场强（图21）。

图20

从监测站到测试发射机的最大距离定义示例

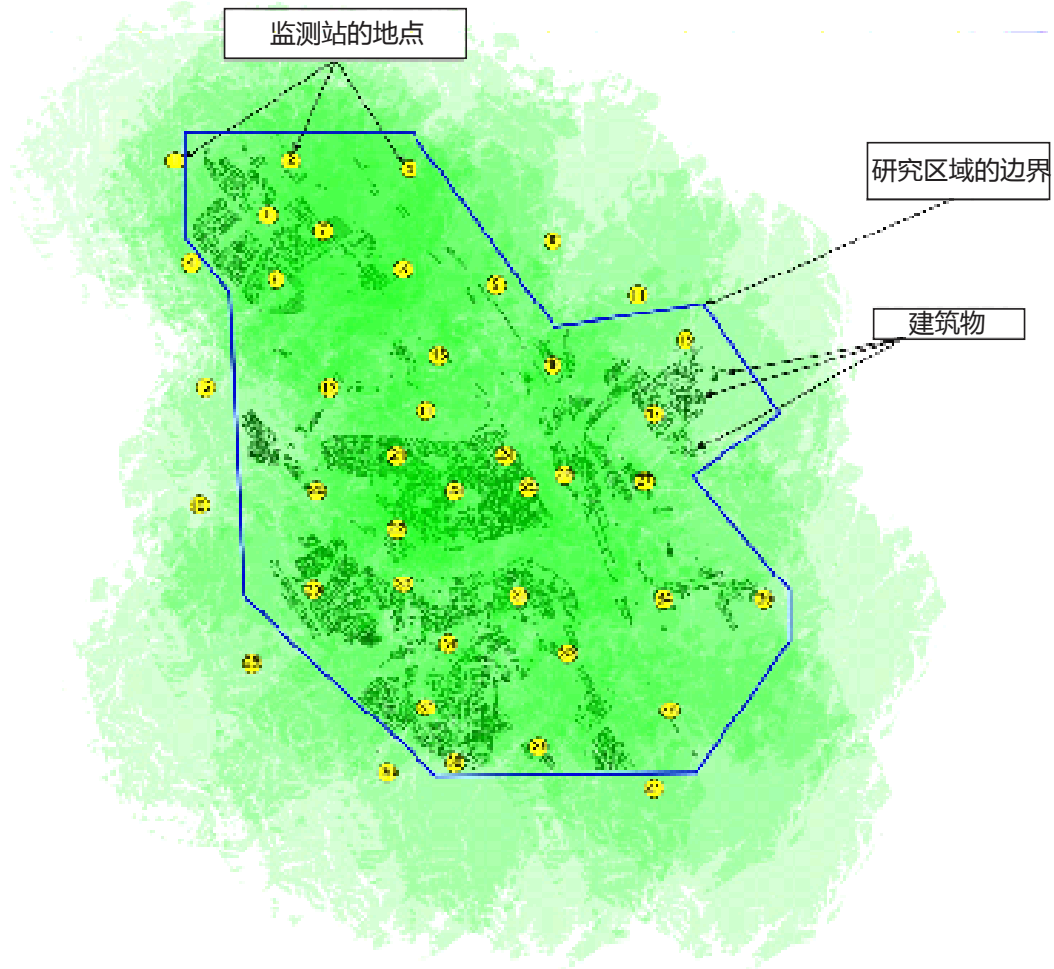
（仅用于AOA SMN的规划）



SM.2356报告-20

图21

监测站选中地点的覆盖区域



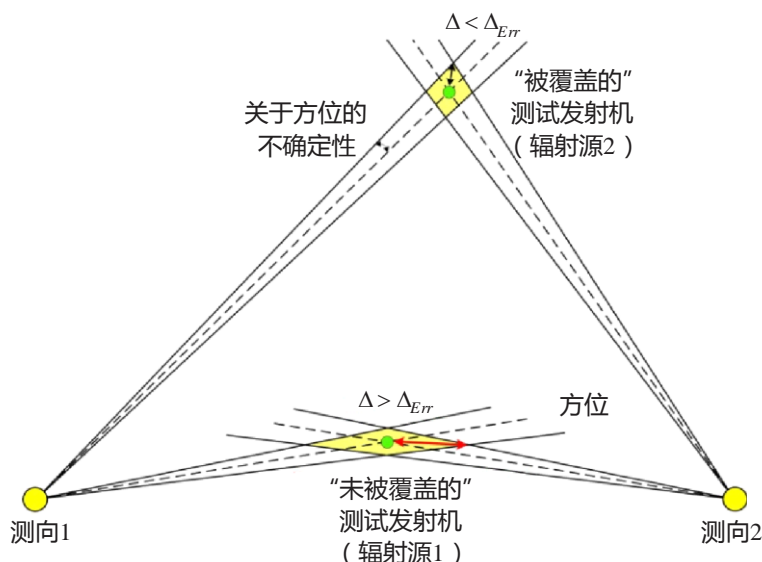
SM.2356报告-21

#### 步骤4：制作“AOA / TDOA-链路”图，并选择监测站的参照

##### 规划AOA SMN

为规划AOA SMN，有必要用至少两个监测站来覆盖每一个测试发射机。因此，对每一对监测站，其共同的覆盖区域由以下区域来确定，即在该区域中，定位不确定性值将不会超过预定义的最大定位不确定性值（ $\Delta_{Err}$ ），见图22）。

图22  
通过两个AOA站确定覆盖区域示例

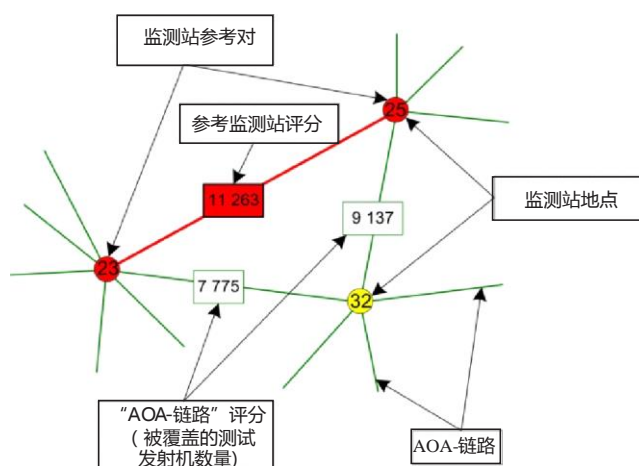


SM.2356报告-22

此所谓的“AOA-链路”（监测站对）的评分等于在该区域内所覆盖的测试发射机的数量。在计算所有“AOA-链路”的评分后，有可能生成“AOA-链路”图。

在所有的AOA-站对中，必须选择评分最高的那对监测站（以研究区域中更大的覆盖区域）。如果必要的话，还需对未来监测站的站址做额外检查。由此产生的第一对监测站被认为是“参考对”（图23）。

图23  
“AOA-链路”部分示意图



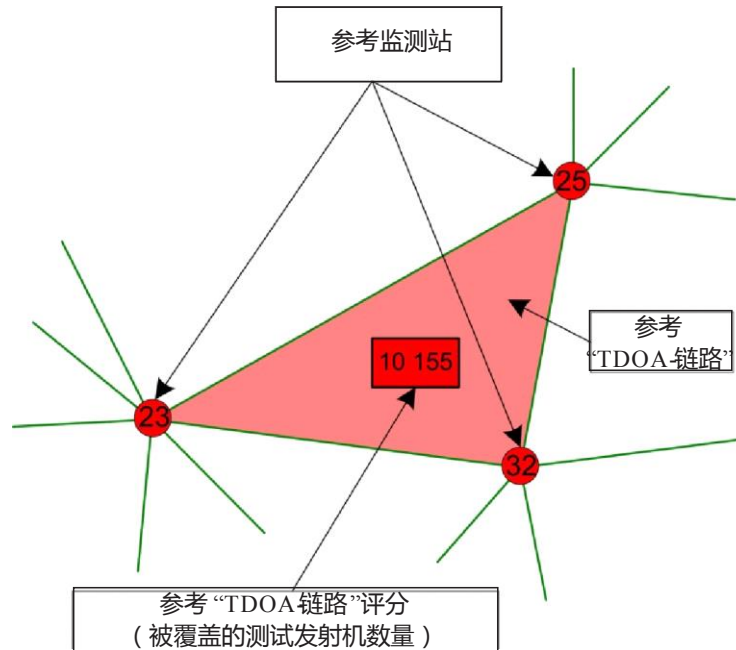
SM.2356报告-23

### 规划TDOA SMN

执行了一个类似的程序，以对TDOA站点进行规划。但在这种情况下，有一个例外：对每个测试发射机，都应至少由三个监测站予以覆盖，这是必要的（图 24）。

图24

“TDOA-链路”部分示意图



SM.2356报告-24

规划SMN以监听和测量无线电信号的参数

在为监听和测量无线电信号参数而规划SMN的情况下，必须选择研究区域中覆盖区域最大的那个监测站（以最高的评分）。如果必要的话，还需对未来监测站的站址做额外检查。

### 步骤5：定义未覆盖的区域

在规定各无线电监测站的位置后，其覆盖区域从研究区域中“减去”。应该注意的是，在这种迭代后，监测站中剩余站址的评分或剩余“AOA/TDOA-链路”的评分将会改变。

### 第六步：为新的监测站选址

对研究区域中未被覆盖的区域进行分析。应获得有关以下问题的答案：它可由移动站覆盖吗？是否需要规划额外的固定监测站？如果存在这样的需求，那么必须以研究区域中未被覆盖区域中的最高评分来为监测站选择下一个站址。

规划AOA SMN

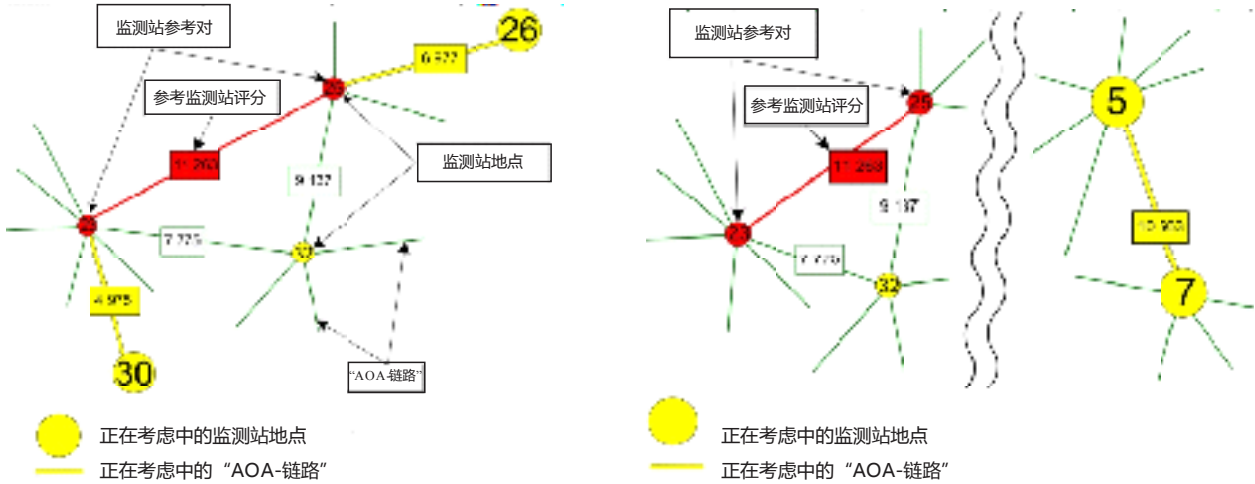
在规划AOA SMN的情况下，它将以最高评分而成为下一对站。如果这对站与“参考对站”不相邻，那么它应决定是否增加“参考对站”的链至四个站，这样，此类链总的评分将超过两个所考虑孤立“AOA-链路”的总评分。以最高的总评分来选择变体（图25）。应该注意的是：

$$\text{评分}(S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26}) = \text{评分}(S_{30-23} \cup S_{23-25} \cup S_{25-26});$$

$$\text{评分}(S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26}) \neq \text{评分}(S_{30-23}) + \text{评分}(S_{23-25}) + \text{评分}(S_{25-26})$$

图25

为监测站选择的地点示例（“AOA-链路”部分示意图）



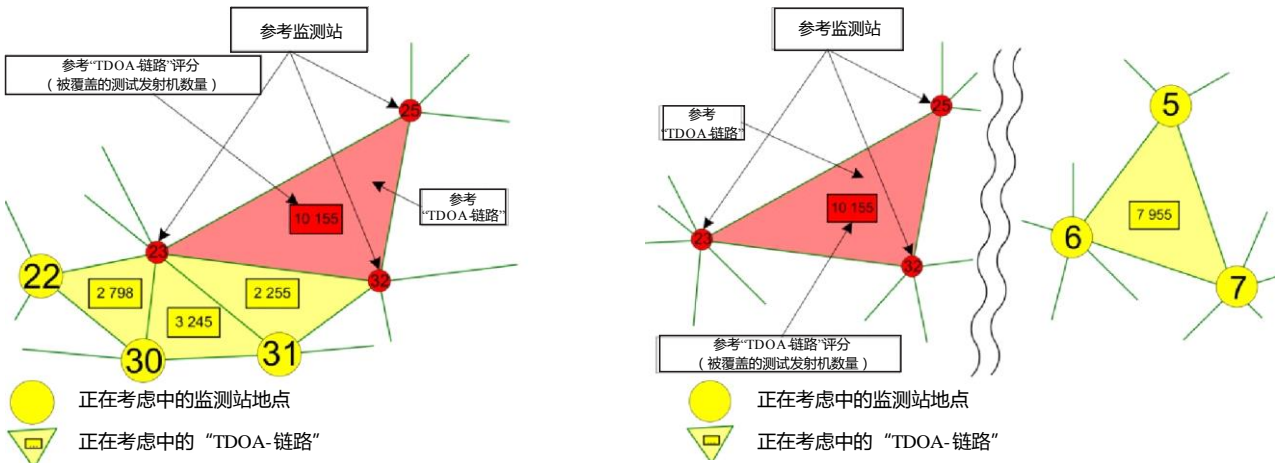
SM.2356报告-25

规划TDOA SMN

为规划TDOA站执行了一个类似的过程。它将以最高评分而成为下一个“TDOA-链路”。如果这些站与“参考站”不相邻，那么应决定是否增加“参考站”的链，这样，此类链总的评分将超过两个所考虑孤立“TDOA-链路”的总评分。以最高的总评分来选择变体（图26）。

图26

为监测站选择的地点示例（“TDOA-链路”部分示意图）



SM.2356报告-26

为监听和测量无线电信号的参数而规划SMN

在为监听和测量无线电信号的参数而规划SMN的情况下，对未涵盖的研究区域进行分析，而后以最高的评分来选择下一个站（以未涵盖研究区域中的最大覆盖区域）。

步骤7：进行新的迭代

必要的话，重复步骤5、步骤6和步骤7。



## 7 结论

依据监测覆盖范围来规划新的SMN和优化现有SMN的过程是一项相当复杂的任务，它需要在不同的阶段做出一定的行政决策。该过程也可能相当冗长，特别是在需要获得必要的土地以安置固定站时，原因是对每一个潜在的站点都需要进行勘查，以确定其适用性和覆盖范围。可能需要重复该过程，以便找到可用的站点，并最大程度地满足所有的要求。

在规划和优化SMN的每一个阶段，几乎都需要对监测覆盖范围进行计算。因此在此过程中，它们扮演着重要的角色，这从ITU-R SM.1392-2建议书中可以清楚地看到。对LCT的计算来说，尤其如此，原因是正如我们所见，对SMN整体及其各组成部分而言，该参数是SMN质量的最好指标。

## 附件 1

### 在比较平的地形中关于局域AOA SMN规划的实际例子

#### A1-1 引言

任何国家频谱监测服务的工作效率取决于某些因素，其中主要的因素有：

- 频谱监测网络的结构；
- 频谱监测站的数量以及所用的无线电监测设备及其技术性能。

频谱监测网络的结构由频谱监测服务责任区内的频谱监测服务任务、工作频段和无线电发射机的分布情况等来确定。

在大多数情况下，固定频谱监测网络的工作频段限制在最大3000 MHz，固定测向网络的工作频段限制在最大1000 MHz。

频谱监测网络的聚合覆盖面积由所有固定监测站的覆盖区域形成。

测向网络或测向仪群集的聚合测向面积通过聚合网络中所有测向仪的测向面积来形成。

聚合定位面积由至少两个固定测向仪的测向面积的交叉部分形成。

一个固定监测站的覆盖区域和一个测向仪的测向面积可使用在最新版ITU-R P.1546建议书的方法或自由空间条件来计算，或者在实践中进行测量。

为比较测向覆盖区域边界，需要的初始数据是：《国际电联频谱监测手册》确定的测向仪接收机和监测站接收机在不同工作模式下典型的灵敏度值（场强阈值）、典型的发射机输出功率、典型的监测站天线高度和发射机天线高度。



## A1-2 用于规划频谱监测网络拓扑结构的初始数据

在实践中，在规划固定频谱监测网络时，可使用两种主要方法：

- 使用尽可能少的固定监测站，来覆盖尽可能大的陆地面积；
- 使用尽可能少的固定监测站、通过监测最大数量的无线电发射机来覆盖。

第一种方法在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节中做了描述，它基于使用一种规则的测向仪网络结构，在该结构中，测向仪位于等边三角形的顶点。但这种方法不提供最小数量的测向仪（或固定监测站）。为优化频谱监测网络效率，在计算测向面积时，可能需要考虑地形。

第二种方法对固定频谱监测网络拓扑结构的不同变化进行初步的仿真。在这种情况下，频谱监测系统拓扑结构规划需要考虑三个主要因素：

- 无线电发射机在责任区域的分布情况；
- 在不同频段上的无线电波传播条件；
- 用在某些电信技术中的多路复用方法。

多路复用方法确定潜在的测向网络，以定位无线电发射机。

## A1-3 最简单频谱监测网络拓扑结构的优化

最简单的测向网络由两台测向仪构成，它们位于彼此之间相距约8~10 km的距离上。不幸的是，这种结构可能有“盲区”，即在“盲区”中，测向网络无法以要求的精度确定无线电发射机的位置，或者根本无法确定其位置。

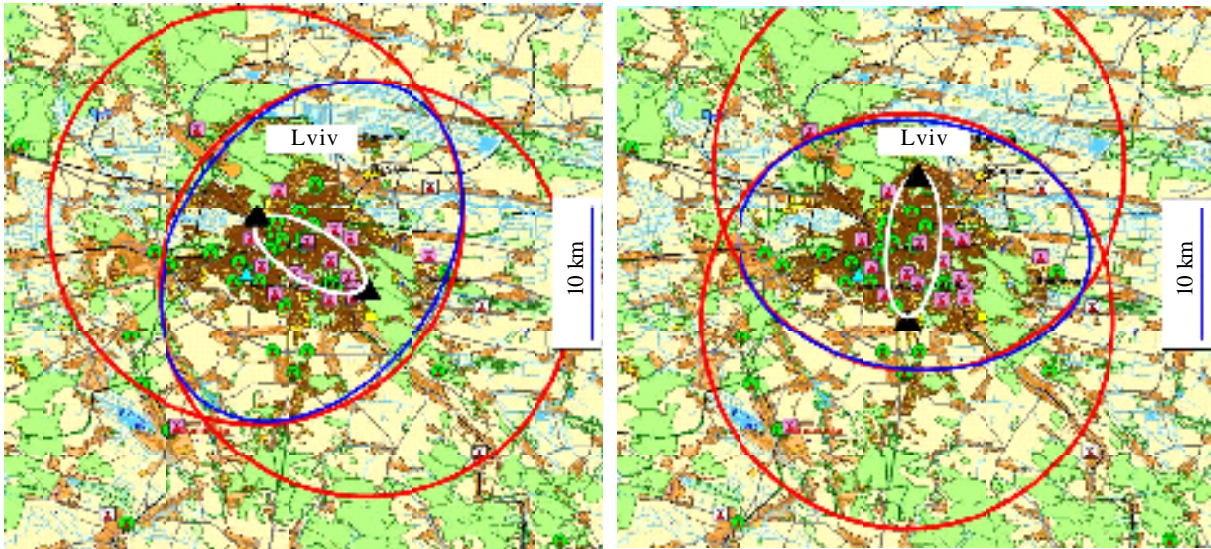
例如，图A1-1显示了在里沃夫（乌克兰）的两台测向仪可能的两种位置变化。工作于400 MHz频段的UHF无线电发射机的位置通过绿色和粉红色的图标来标记，测向仪的位置通过小的黑色三角形来标记。为使用自由空间条件而计算的测向区域边界通过一条红线来标记，聚合定位面积通过一条蓝线来标记。

如果两台测向仪位于定点处的两端，那么聚合定位面积覆盖某些发射机，而其他的发射机将落在“盲区”中（在图A1-1中，其边界通过白线来标记）。在这种情况下，数量占发射机总数的约30%。

在实践中，有两种解决方案可用于消除“盲区”：

- 使用第三台测向仪；
- 优化测向仪位置。

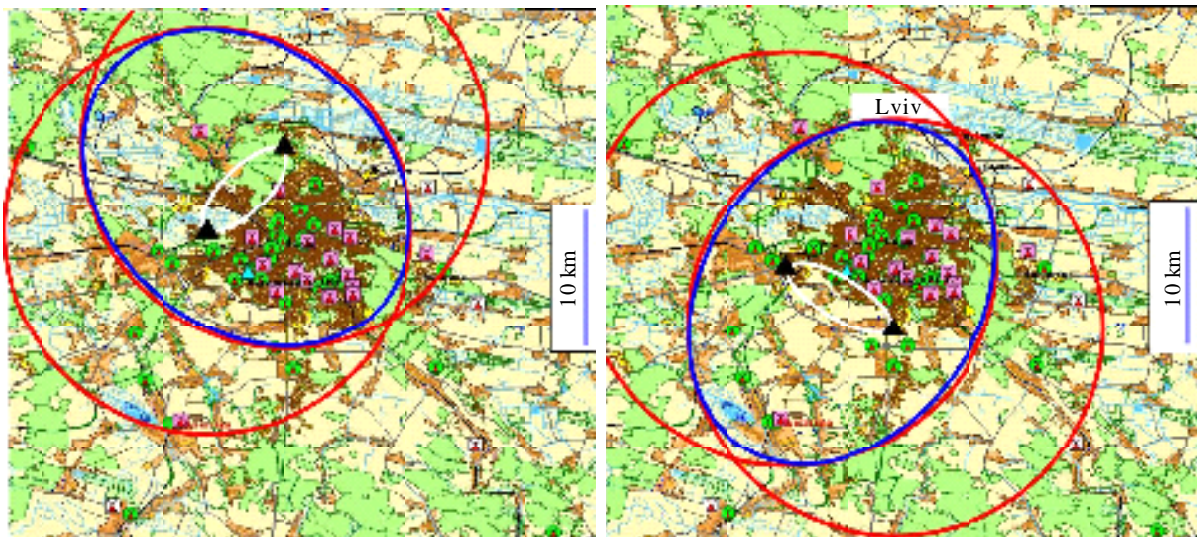
图A1-1  
两个测向仪可能的定位变化



SM.2356-报告A1-01

最后的解决方案基于只使用两个测向仪。一些可能的测向仪定位变化情况如图A1-2所示。在这种情况下，聚合定位范围覆盖所有的发射机，且没有发射机在“盲区”内。

图A1-2  
里沃夫（乌克兰城市）中两个测向仪可选的定位变化



SM.2356报告-A1-02

最简单的定位网络拓扑结构由两个测向仪构成，如果它们配置于城镇外围附近、彼此之间的距离约为8~10 km，那么这是一种最佳的拓扑结构。这种测向仪配置方案使可能落入“盲区”的无线电发射机数量降至最低。



#### A1-4 规则的大型频谱监测网络拓扑结构

为在一个大的区域中实现频谱监测和无线电发射机定位，需要使用许多测向仪。

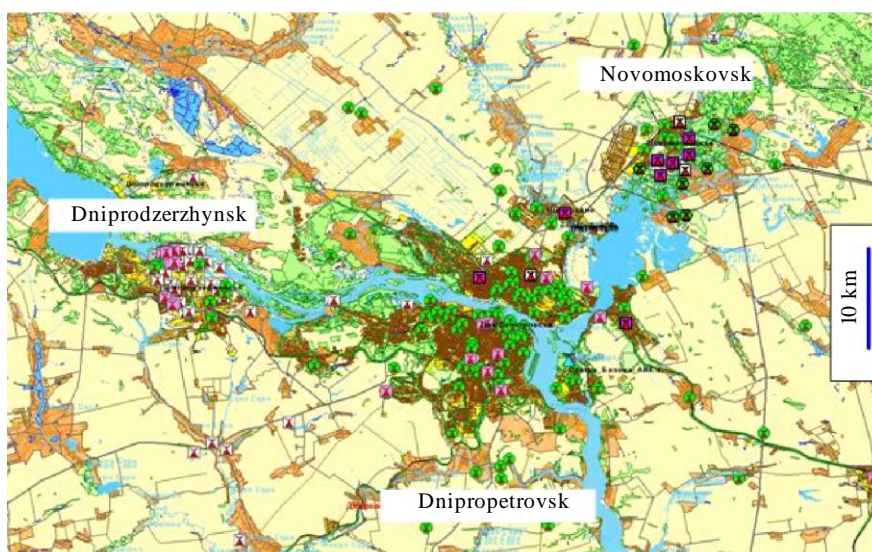
图A1-3显示了第聂伯罗彼得罗夫斯克（Dnipropetrovsk）及其卫星城镇——第聂伯罗捷尔任斯克（Dniprodzerzhinsk）和新莫斯科斯克（Novomoskovsk）（乌克兰）在400 MHz频段上无线电发射机的分布情况（TRUNK基站和UHF发射机）。发射机的位置通过绿色和粉红色的图标来标记。

图A1-4和图A1-5显示了有关假设的测向和定位网络计算拓扑结构的两种可能变化，它覆盖所提之区域中的各发射机，并基于规则的网络结构。

图A1-4中的网络包括八台测向仪，它覆盖100%的感兴趣区域，并对99%的发射机提供了频率参数检测和测量功能，但它只对不到87%的无线电发射机提供了定位功能。

图A1-3

400 MHz频段上TRUNK基站和UHF发射机的分布情况

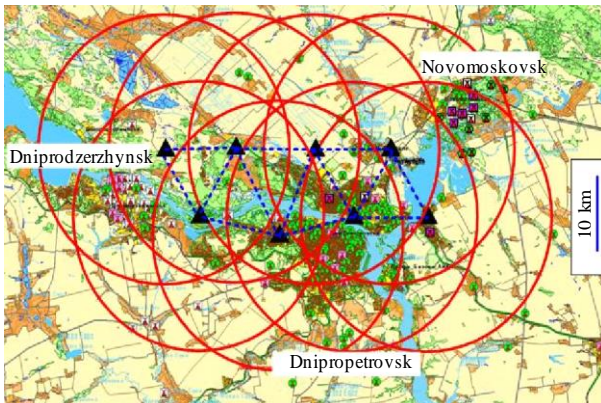


SM.2356报告-A1-03

图A1-5中显示的网络覆盖100%的感兴趣区域，并对99%的无线电发射机提供了频率参数检测和测量功能。但它需要至少七台测向仪。

图A1-4

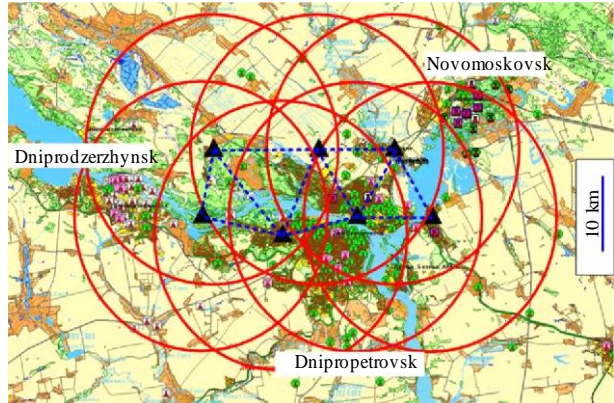
假设的规则测向和定位网络（变化1）



SM.2356报告-A1-04

图A1-5

假设的规则测向和定位网络（变化2）



SM.2356 报告-A1-05

### A1-5 不规则的频谱监测网络拓扑结构

大型测向仪网络的拓扑结构基于不规则的结构，并基于两大准则来“逐步”确定：

- 使用尽可能少的固定监测站、通过监测最大数量的无线电发射机来覆盖；
- 尽可能减少在两个离得最近的测向仪之间的“盲区”中的无线电发射机数量。

步骤1. 确定频段上感兴趣区域中无线电发射机的分布情况。图A1-3显示了第聂伯罗彼得罗夫斯克（Dnipropetrovsk）地区及其卫星城镇 – 第聂伯罗捷尔任斯克（Dniprodzerzhinsk）和新莫斯科斯克（Novomoskovsk）在VHF/UHF频段上无线电发射机的分布情况。

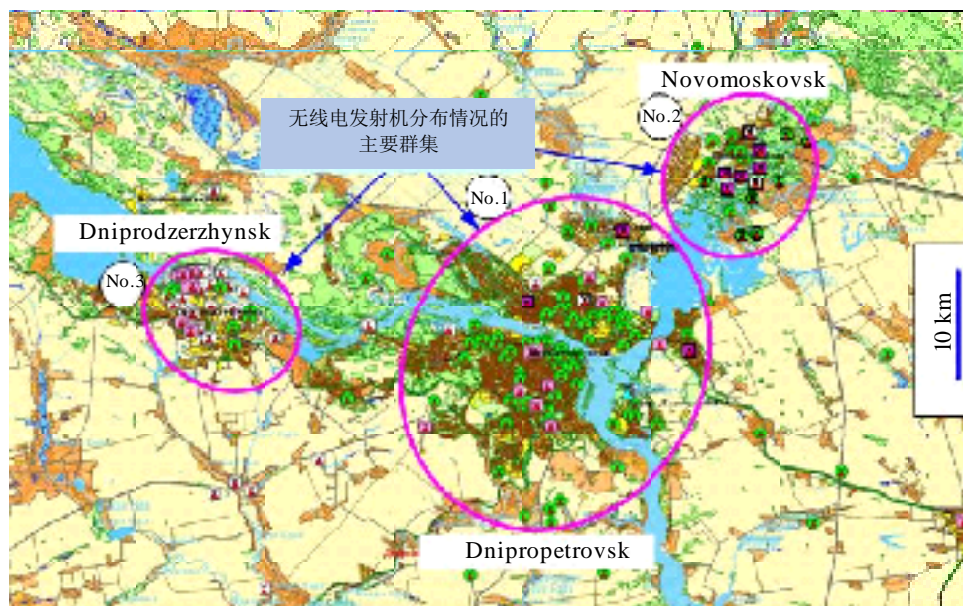
步骤2. 确定感兴趣区域中大的无线电发射机群集。

在图A1-6中，通过粉红色椭圆来界定400 MHz频段上TRUNK基站三大群集和VHF无线电发射机的边界。



图A1-6

400 MHz频段上发射机的主要群集



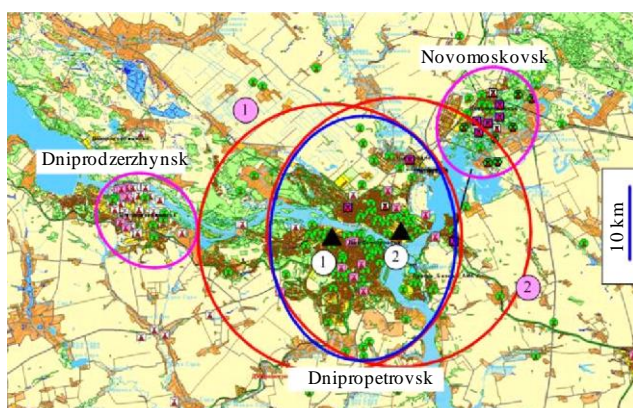
M.2356 报告-A1-06

步骤3. 仿真频谱监测系统的初步拓扑结构。

频谱监测网络的拓扑结构是使用一个迭代程序来确定。首先的和显然的提议是通过部署两台测向仪来形成群集#1的定位面积（图A1-7）。

图A1-7

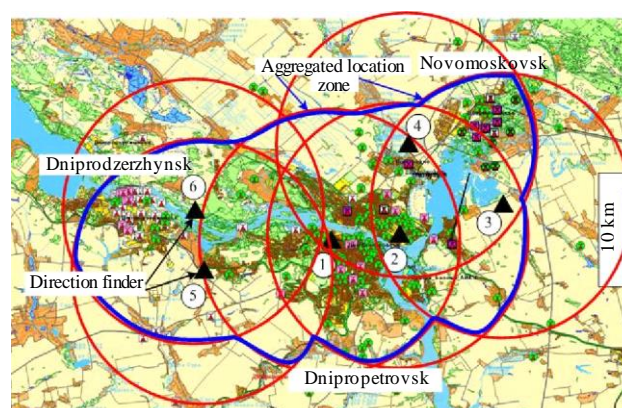
频谱监测网络拓扑结构的主要变化



SM.2356报告-A1-07

图A1-8

频谱监测网络的聚合定位面积



SM.2356报告-A1-08

但在这种情况下，为确定群集#2和群集#3中发射机的位置，需要部署两对额外的测向仪（图A1-8）本频谱监测网络的聚合定位面积通过一条蓝线来标记。

步骤4. 优化频谱监测网络的拓扑结构。

使用不规则结构，有可能将测向仪的数量降至最低，并优化频谱监测网络的拓扑结构。

在定位网络建模的第一阶段，确定三台测向仪（1、2和3）的位置，以创建发射机群集#2的定位面积以及大部分发射机群集#3的定位面积（图A1-9）。

在第二阶段，通过引入测向仪4和测向仪5，来扩展定位面积（图A1-10）。聚合定位面积通过一条蓝线来标记。

图A1-9

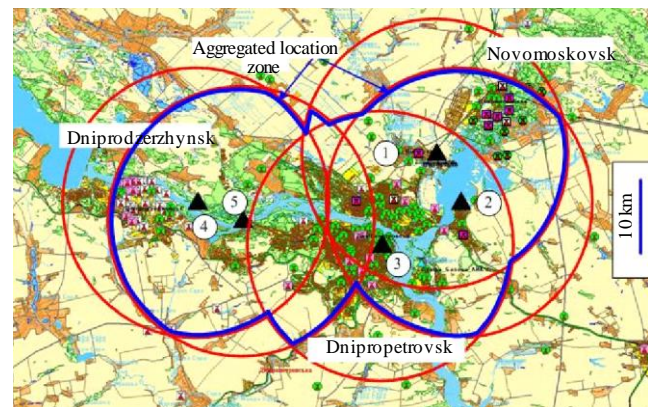
频谱监测网络不规则拓扑结构建模第1步



SM.2356报告-A1-09

图A1-10

频谱监测网络不规则拓扑结构建模第2步



M.2356报告-A1-10

为了形成预定的覆盖面积，可以使用上述准则增加一些测向仪。

基于仿真结果来确定第聂伯罗彼得罗夫斯克（Dnipropetrovsk）、第聂伯罗捷尔任斯克（Dniprodzerzhynsk）和新莫斯科斯克（Novomoskovsk）中本局域测向和定位子网的拓扑结构。子网包括五台测向仪，它覆盖约100%的VHF无线电发射机和约99%的评估区域。在本局域子网中也不存在任何“盲区”，包括在固定测向仪4和固定测向仪5之间可能存在的“盲区”。

在规划期间，可对不规则的测向和定位网络拓扑结构进行优化，以便使用尽可能少的固定测向仪来覆盖更多的无线电发射机。

## 附件 2

### 在山区和丘陵地区中的AOA SMN规划

#### A2-1 前言

一个众所周知的事实是，监测站的覆盖区域随天线高度的增加而增加。不过，任何显著增加天线桅杆的物理高度都将充满技术难度和可观的财务成本。因此，在实践中，站天线的有效高度通常通过将之置于地势较高的地方来增加。对位于山区的国家而言，有效的天线高度有时可提升至3000 m，在ITU-R P.1546-4建议书中提到了有关数据。



为SMN规划，最近开发了一种通用方法[1, 2]和相应的软件（如在《国际电联关于频谱管理的计算机辅助技术（CAT）手册》（2015年版）附件5中所述），使我们能够定量评估通过这种方法来为固定站天线确定位置可能带来的益处，并分析相关的现象和形成适当的建议书[3]。

监测覆盖范围的计算基于第4.7.3.1.4节和《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第6.8节中所述的方法。用于这些估算的测试发射机是一个工作于900 MHz的、10 W专用移动电台（PMR），其天线离地面的高度为6 m。这相当于一个坐落于单层建筑物屋顶的3 m高天线桅杆，它用最少的参数为我们提供了一个有关小型移动无线电基站的有用模型。所用的无线电波传播模型基于ITU-R P.1546-4建议书中所述的方法，其附件5第1.1节描述了一个适用于监测的、建议的计算方法。对正在考虑的所有固定站，测向不确定性值取 $1^\circ$  r.m.s.，对移动站，测向不确定性值取 $2^\circ$  r.m.s.。

## A2-2 坐落于较高位置上的站点天线的测向和定位覆盖区域

为了增加站天线的有效高度，我们不要忘记，为了发挥作用，站需要一个适当的基础设施，最重要的是需要一个电力供应站和一条可达的道路，即使对一个无人值守的、自动的站，这也是需要的，以便进行维护等。

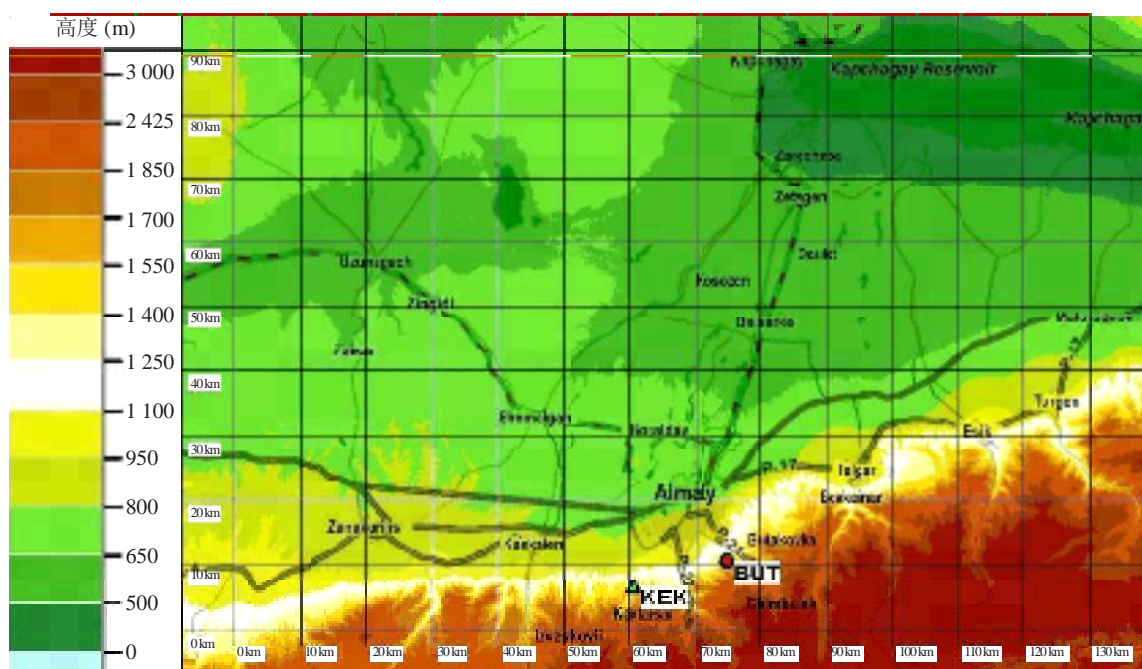
因此，在实践中，在山区选择站及其天线的位置仅限于宜居区的在上边界内，在这些区域中，这样的基础设施已经存在。

两个带天线的虚拟固定站位于阿拉木图（哈萨克斯坦共和国）南部山麓[3]。这种情况如图A2-1所示，图中显示了所议地区的地形。其中一个站（KEK站）的天线坐落于1506 m的高度上，另一个站（BUT站）坐落于1568 m的高度上。天线桅杆的物理高度为10 m，在这种情况下，天线的物理高度几乎没有影响其按照ITU-R R.1546-4建议书中的程序所确定的有效高度。出于安全方面的原因，不建议采用较低的天线桅杆高度。对天线具体的位置点做了精心选择，以便最大化监测覆盖范围（如下所述）。

图A2-2显示了两个站的定位覆盖样板（LCT）。

图A2-1

正在考虑的虚拟站选址和区域拓扑结构



SM.2356报告-A2-01

从图A2-2可以清楚地看到，以这种方法选择站天线的位置使我们能够在毗邻山区的平原边界内、在很大的距离上完成监测，尤其是在阿拉木图的北部和西部（远至70 km甚至更远）。从图A2-2也可以清楚地看到，站天线这样选址的话，阿拉木图的南部将被200~400 m的定位不确定性值（LU）所覆盖，北部将被400~600 m的LU所覆盖。若必要，这将大大加速用一个移动站来确定发射机位置的进程（或任何其他辐射源）。另一方面，在离阿拉木图约60~70 km的距离上，在接近LCT外部边界处，LU的值将会非常高（约12~14 km）。因此，在LCT内，本例子中的LU将以因子70变化。在定位时，应考虑到这种现象。

图A2-2显示，站天线选址在较高的海拔高度上是非常有效的，使我们能够利用少量的固定站即可覆盖非常大的面积。然而，这确实需要更加仔细地选择站天线的位置。在平原中，将天线移动几百米甚至几千米几乎不会影响SMN中一组站总的监测覆盖区域。另一方面，在山区中，天线位置移动甚至几十米都会显著减少所议各站的监测覆盖区域。如果在SMN中只有很少量的固定站，那么这还会对总的定位覆盖区域造成负面影响。图A2-3显示了当BUT站只向南移动100 m（站B2）时产生的LCT。相比图A2-2，这种移动带来的负面影响是显而易见的。

因此，一旦完成对这种山区中监测网络的计算机建模，则有必要对潜在的站点进行仔细的勘测，涉及对该区域进行全面的视觉勘测（使用双筒望远镜），看在所监测区域的方向上有没有可能阻碍无线电波传播的障碍物。

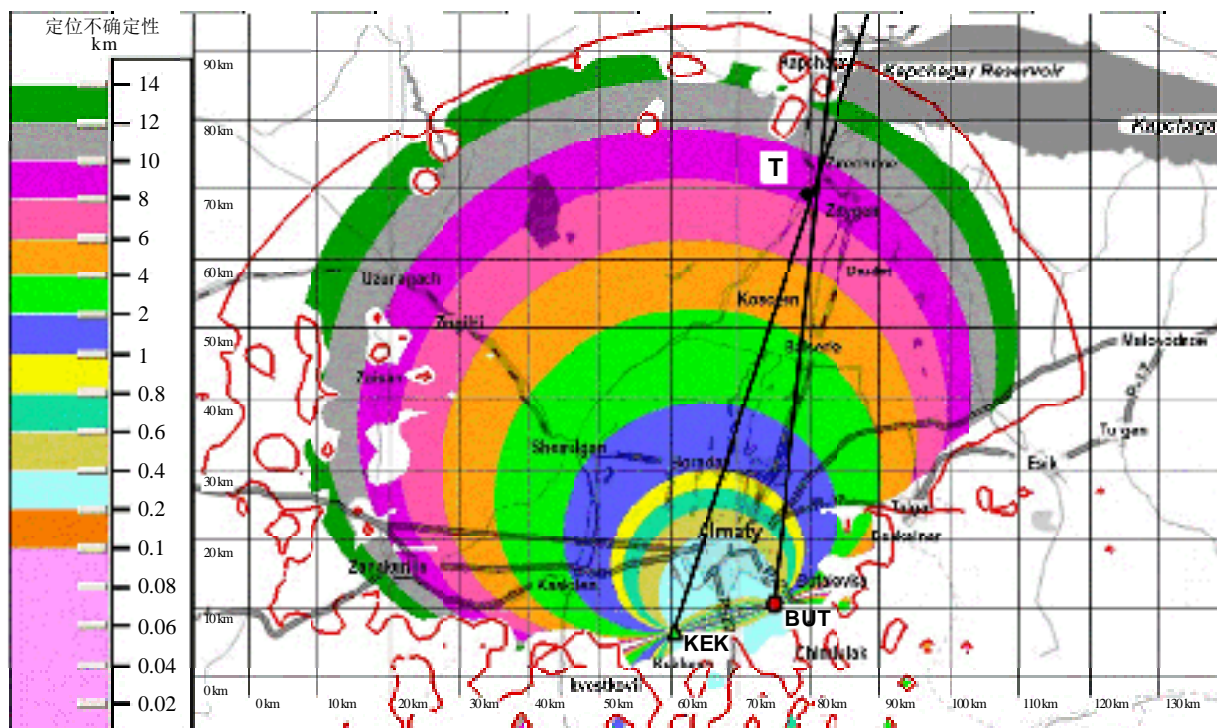
### A2-3 减少反射效应的可能性

另一个因素，和一个非常典型的山区，是来自附近山区的反射现象[4]。在为站天线选择位置的过程中，这需要特别注意。它们应该坐落于山脊，凸着进入所监测区域。这将减少来自附近相同或更大高度山区反射的可能性。来自较低山区的反射影响可能会小一点。

图A2-4显示的就是这样一种方法，用于选择与KEK站和BUT站相关的天线的位置。另一方面，如果一个站的天线位于相同或更大高度的突出脊之间，如在图A2-4中站N的情况，那么来自反射的干扰可能会相当大。图A2-4显示了信号发射的高概率，信号来自发射机T<sub>r</sub>，由站N的天线收到。

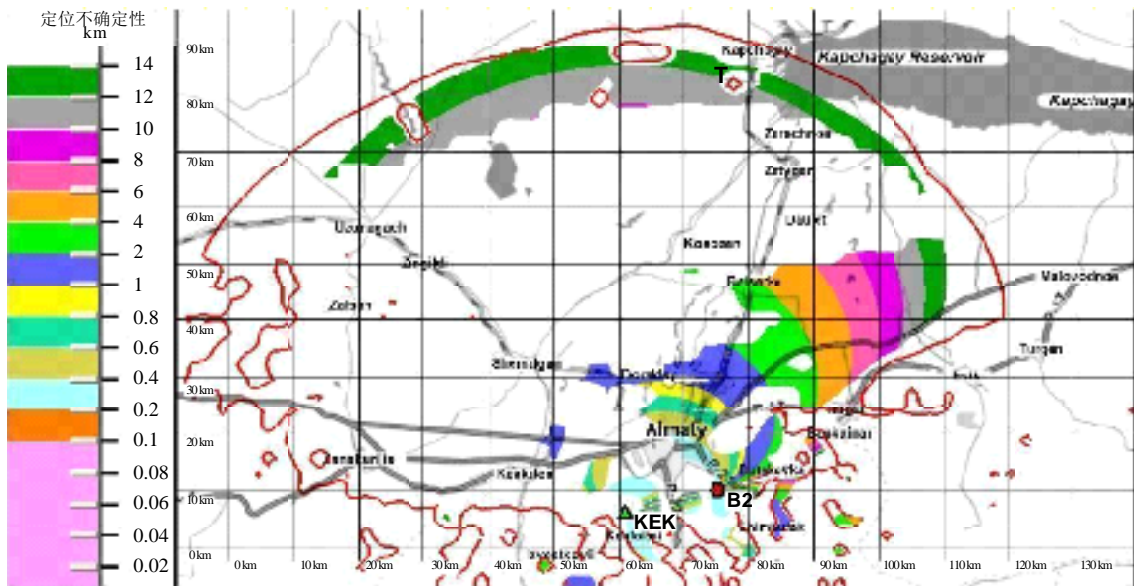
图A2-2

KEK站和BUT站适当选址的测向和定位覆盖范围



图A2-3

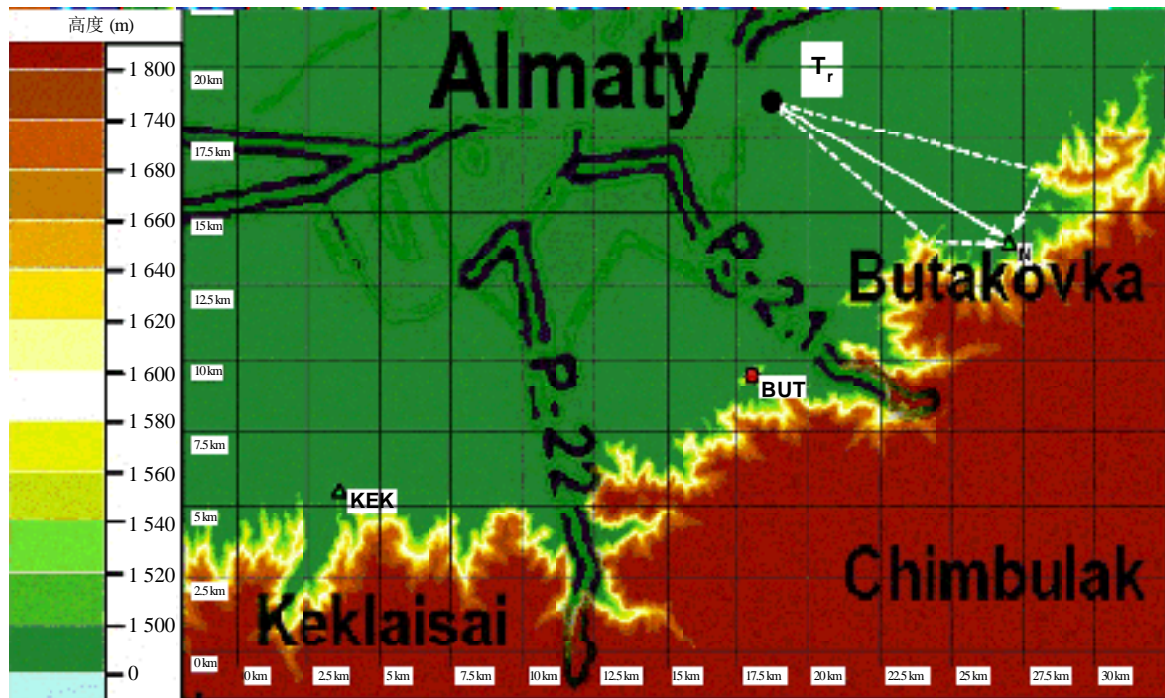
BUT站未适当选址的测向和定位覆盖范围



SM.2356报告-A2-03

图A2-4

选择站址以减少反射效应的可能性



SM.2356报告-A2-04

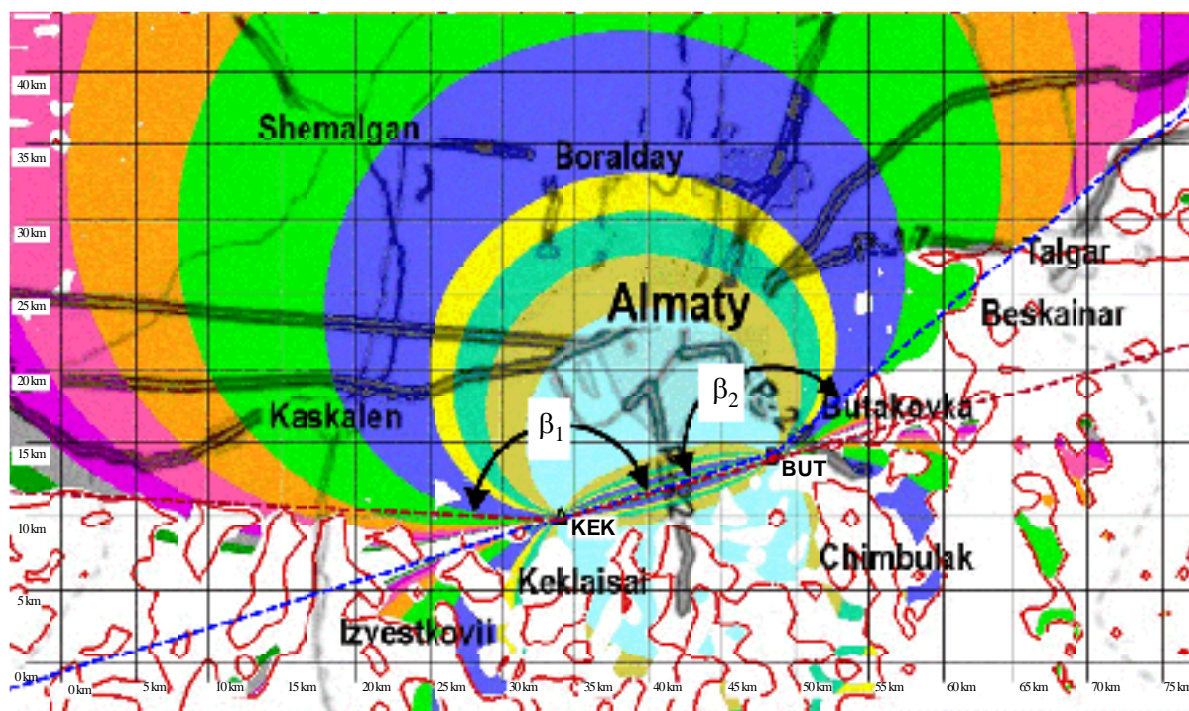
为了防止来自所议站（与监测区域有关）更大距离外高山的反射影响以及来自侧面方向上的反射影响，使用适当的软件，可以阻止因这种反射而造成的所有错误方位[4]。在此处所考虑的情况下，如图A2-5所示，可以阻止至KEK站和BUT站的方位（分别在扇区 $\beta_1$ 和扇区 $\beta_2$ 之外的角度上）。



在这些地区，在高山上很少有城镇或村庄有潜在监测兴趣的无线电发射机，在这些地区，几乎没有有效的固定站监测。

图A2-5

阻止因山区反射而产生的虚假方位



SM.2356报告-A2-05

当远离固定监测站群时，定位不确定性值可能会非常高。但如果这些移动站和固定监测站之间存在有效的相互作用，那么这并不妨碍通过一个移动站来在这些地区以及LCT之外的地区有效确定所寻发射机的位置，当中，仅通过一个固定监测站来提供测向，如参考文献[5]所述。

#### A2-4 结束语

可以有效利用山区地形来扩展一小部分固定站在山区毗连之整个平原地区的监控覆盖区域。另一方面，在这种情况下，选择合适的天线站点并仔细地进行现场勘测，对保证所监测区域方向上不间断的视线而言，甚至显得更重要。也需要采取措施来减少来自附近山区（坐落于与所监测区域有关的某个给定站的背后）的反射影响。

## 附件 3

## 接收机性能及其对网络覆盖范围的影响

## A3-1 接收机性能对地理定位网络站点间隔距离的影响

频谱监测站的系统灵敏度是通过许多不同的设计参数来定义的，包括天线增益、接收机瞬时带宽（IBW）、接收机噪声系数，接收机瞬时动态范围和接收机相位噪声。

监测接收机的性能指标将对计划中的、主规则网络上各节点之间的间隔距离产生直接影响。这反过来会影响覆盖范围。更高性能的接收机允许更大的间隔，从而减少覆盖某个特定区域所需的监测站数量。这些原则适用于AOA、TDOA和混合网络。下面，我们用 $NF_{\text{接收机}}$ 作为有效接收机噪声系数，它结合了带瞬时动态范围影响的实际接收机噪声系数和接收机相位噪声。一个现代接收机典型的噪声系数为12 dB。

## A3-2 瞬时动态范围

操作现代信号，稳步增加带宽，直至20 MHz或更宽。为了有效分析这些信号，现代SMS系统使用宽带接收机。随着接收机带宽的增加，一个预期之外的副作用是，很可能在接收机带宽内既会出现强的信号，也会出现弱的信号。出于辐射器密度正在不断增加的事实，监测系统很可能安装于强信号附近是一个现实的问题。

为了在存在强信号的情况下也能接收微弱信号，宽带接收机必须拥有高的带内动态范围，否则它无法监测弱信号<sup>4</sup>。动态范围不足的影响是，无法监测到微弱信号，这相当于增加了接收机的有效噪声系数。注意：通过使用具有双重接收机带宽的接收机，即宽的带宽和窄的带宽，可进一步减少附近强信号的影响，在附近存在非常强信号的情况下，使用窄的带宽（通常为宽的带宽的1/10）。

## A3-3 相位噪声

接收机的本地振荡器设计得可产生尽可能纯的混合信号，但在实践中，可获得的纯度可以相差很大，这取决于设计。纯度以若干偏移频率上低于载波的dB数来度量（dBc）。问题是，通过接收机相互混合，在存在强信号的情况下，本地振荡器相位噪声可掩盖弱信号。相互混合的效果又相当于增加接收机的有效噪声系数。为了尽可能减少相互混合的影响，接收机的相位噪声必须低。现代接收机的相位噪声指标在10 kHz偏移中不应少于-100 dBc/Hz。

## A3-4 对覆盖范围的影响

图A3-1显示了接收机有效噪声系数与全覆盖感兴趣的理论面积所需的站总数之间的关系。左侧的图显示了一个由各站组成的网络， $NF_{\text{接收机}} = X$ ，其覆盖半径为 $R$ 、覆盖面积为 $CA$ 。在这些条件下，感兴趣的面积可被约九个站所覆盖。

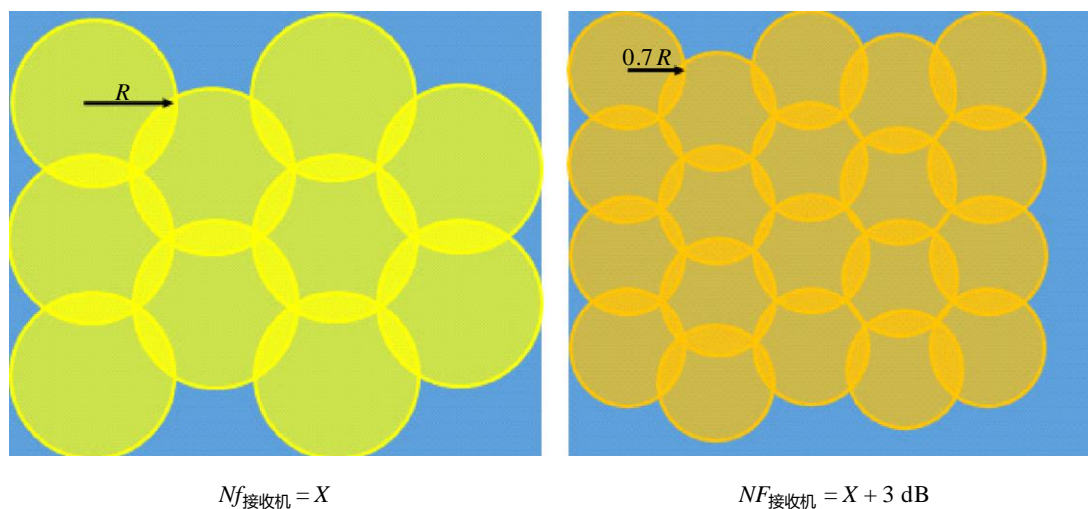
---

<sup>4</sup> 在本分析中不考虑用于减少强信号的缓解措施，如陷波滤波器或带阻滤波器。

右侧的图显示了一个接收机的情况，其有效噪声系数高3 dB，即 $NF_{\text{接收机}} = X + 3 \text{ dB}$ 。在这种情况下，覆盖半径减少到 $0.7R$ 、覆盖面积减少到 $\frac{1}{2}CA$ 。

图A3-1

接收机有效噪声系数与全覆盖感兴趣的理论面积所需的站总数之间的关系示例



SM.2356报告-A3-01

对该简单的分析模型而言，每增加3 dB接收机有效噪声系数，所需的监测站的数量将约增加一倍。

应该注意的是，所有这些参数都只对自由空间时才是对的。在实际实践中，这种情况可能会差一些：在郊区和城市环境中，理想的 $20 \log(d)$ 将变成为 $40 \log(d)$ 或 $50 \log(d)$ ——因此，每增加3 dB的噪声系数，其结果是需要更多数量的接收机，以便实现全覆盖。

在《国际电联频谱监测手册》（2011年版）第3.3节中，给出了关于监测接收机的更多信息。

### A3-5 结论

使用接收机设备是很重要的，它符合或超出国际电联当前建议书的要求。使用最简单的分析模型表明，接收机有效噪声系数每增加3 dB，所需的监测站数量将至少增加一倍。

## 参考文献

- [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 upravleniya ispolzovaniem radiochastotnogo spectra, Tom 1: Mezhdunarodnaya i natsionalnaya sistemy upravleniya 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 rasshireniya 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](http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261)).
  - [4] Nurmatov, B.N., *Osobennosti radiopelengatsii v usloviyakh Kyrgyzskoy Respubliki.* VI Mezhdunarodny simpozium po elektromagnitnoy sovместимости 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., *Doposk 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](http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261)).
-