

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R M.1768-1 建议书
(04/2013)

**国际移动通信地面部分的
频谱需求的计算方法**

M 系列

**移动、无线电定位、业余
和相关卫星业务**

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 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2014年，日内瓦

© 国际电联 2014

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 M.1768-1 建议书
国际移动通信的地面部分的
频谱需求的计算方法

(2006年-2013年)

范围

本建议书描述了估算国际移动通信（IMT）的地面频谱需求的一种方法。

本建议书提供了一个综合了服务类别（服务类型与业务量等级的组合）、服务环境（服务使用模式与电信密度的组合）、无线电环境、采用这些类别和环境进行的市场数据分析和业务量估计、无线电接入技术组（RATG）之间业务量分配、对所需系统容量的计算以及由此对频谱需求进行确定的一种系统方式。该方法既适用于电路交换，也适用于基于分组交换的业务量，并且能够适用于多种服务，同时亦支持使用预留概念的电路交换仿真业务量。

1 相关建议书和报告

ITU-R M.1390建议书 –	IMT-2000地面部分频谱需求的计算方法
ITU-R M.1457建议书 –	国际移动通信-2000（IMT-2000）地面无线电接口的详细规范
ITU-R M.1645建议书 –	IMT-2000和超IMT-2000系统未来发展的框架和总体目标
ITU-R M.2012建议书 –	先进的国际移动通信（IMT-Advanced）地面无线电接口的详细规范
ITU-R M.2038报告 –	技术趋势
ITU-R M. 2072报告 –	世界移动通信市场预测
ITU-R M.2074报告 –	IMT系统地面部分无线电方面的问题
ITU-R M.2243报告 –	全球移动宽带部署评估和国际移动通信预测

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 适用于IMT的各无线电接入技术组（RATG）可能会有不同的信道带宽需求，并由此对基本频率使用的可能性产生不同的影响；
- b) 附件1中的方法被认为足够灵活，对于地面频谱需求，它既可以适用于全球范围，也可以适用于区域市场的独特需求；
- c) 在固定、移动和广播网络中的服务功能正在日益融合和互联互通；

d) 根据ITU-R M.1645、ITU R M.1457和ITU R M.2012建议书，从服务和网络方面，将通过各种通信手段来提供总的电信市场；

d之二) 为确定IMT的频谱需求，在ITU-R M.2243报告中已确定并考虑了新的市场需求和网络部署方案；

e) 其他传输机制能够支持一些共同的用户应用，并传送其业务量；

f) 应考虑分配给其他相关RATG的业务量；

g) 第233号决议（WRC-12）请ITU-R就IMT的附加频谱需求展开研究；

h) 因此，应仅对处于IMT范围内的RATG进行频谱需求的计算；

j) IMT频谱需求计算方法应符合下述要求：

i) 支持在ITU-R M.1645、ITU-R M.1457和ITU-R M.2012建议书中所描述的能力；

ii) 适应要求不同带宽和服务质量的各项服务的复杂组合，以及明显比IMT-2000更高的比特率；

iii) 能够将由多重互联互通网络组成的系统模型化，并且具有处理不同环境下RATG的不同组合的灵活性，以及可以用不同的无线电接入技术（RAT）提供某个服务的上行和下行链路的可能性；

iv) 使用实际可以采集到的作为业务量预测输入的市场数据；

v) 具有既能处理新兴技术，又能处理IMT-2000增强型系统的灵活性；

vi) 考虑实际网络实施的因素；

vii) 以易于理解和可信的方式得出结果；

viii) 在可行的时间量程内是可以执行和可以验证的；

ix) 从所需的计算设施及执行一次分析所需要时间的角度，适合于在ITU-R会议期间使用；

x) 其复杂性不能超过由输入数据的不确定性所证明的合理限度；

xi) 顾及对IMT进行增强所用技术的进步而带来的频谱效率的改善，

认识到

a) 大部分业务量已从面向语音的通信转为多媒体通信；

b) 网络和系统的设计宗旨为实现分组数据经济传送；

c) 服务将变得更加多样化，因而考虑将简单峰值业务量用于不同环境、不同地理地区和不同时间是不太可行的，

建议

1 希望估算IMT地面部分频谱需求的主管部门采用附件1中所含的方法。

注 – 该方法是一个通用的方法，可用于不同的市场，以及用于多种蜂窝系统架构。当选择输入参数来表现特定国家或区域的需求时，必须要小心谨慎。

附件1

1 引言

过去，对无线应用频谱需求的估算一直被视为探讨单一系统和市场情况的框架。随着ITU-R M.1645、ITU-R M.1457和ITU-R M.2012建议书所述的移动与固定通信的融合和多网络环境的出现以及支持不同的互补接入系统之间无缝互联互通的属性的出现，再使用这样一种简单的方式就不合适了。考虑到市场要求和网络部署情况，为了对频率需求进行估算，必须开发和应用新的模型，它将能够顾及对电信服务之间进行空间和时间上的关联。

2 应用本方法所必需的资料

2.1 对服务和市场的预测

对IMT系统要考虑的所有频谱问题的出发点是对无线通信服务的市场预期。在这方面的关键问题是对IMT系统内用户的市场预测。本方法打算用来涵盖广泛的应用类型。在第3.5节中定义了所要求的市场信息格式。在ITU-R M.2072报告中可以找到这种格式的恰当市场信息的一个示例，在ITU-R M.2243报告中则可以找到有关IMT的最新市场信息。

2.2 技术考虑

本方法在对RAT的技术研究中采取了技术中立的方式，并且采用了在ITU-R M.2074报告中定义的RATG分类。本频谱计算方法需要将表征不同RATG的技术参数作为频谱计算的输入。利用RATG方式，可以轻易完成对频谱估算的技术考虑，而无需涉及现有和未来移动系统无线电接口的详细规范。该技术考虑包括了RATG定义以及与这些RATG相关联的无线电参数，它们被用于本方法的不同步骤中。在ITU-R M.2074报告中已经考虑并描述了这些无线电技术概念和无线电参数的数值，例如频谱效率的数值。

2.3 RATG

本方法考虑了总的地面通信市场，它们将按照ITU-R M.1645、ITU-R M.1457和ITU-R M.2012建议书由各种通信手段从服务和网络方面来提供。可以确定的RATG有几组。本方法把对总体地面通信市场所预测的总业务量分配给已经确定的那些RATG，它们是：

第1组：IMT之前的系统、IMT-2000及其增强型系统。

这一组涵盖了数字蜂窝移动系统、IMT-2000系统及其增强型系统。

第2组：ITU-R M.2012建议书中所描述的超IMT（IMT-Advanced）系统。

第3组：现有的无线电LAN及其增强型系统。

第4组：数字移动广播系统及其增强型系统。

3 频谱需求计算方法

3.1 IMT频谱计算方法的范围

此方法将考虑所有RATG（RATG1-RATG4）的业务量预测，但仅计算对应于IMT系统的RATG1和RATG2的频谱需求。

3.2 频谱计算的方式

估算移动通信频谱需求的技术程序必须以如下4个方面为基础：

- 服务的定义
- 市场预期
- 技术与运行框架
- 频谱计算算法。

3.3 本方法的一般流程

图1中显示的是频谱需求计算方法的一般流程图。

步骤1：列举在本方法中所使用的不同定义，它们在第3.4节中给出。

步骤2：分析市场数据，它们可以从ITU-R M.2072和ITU-R M.2243报告中得到。对市场数据的分析在第3.5节中描述。

步骤3：计算用于本方法的数值，如第3.5.2.6节所述。

步骤4：将业务量分配给不同的RATG及分配给RATG内部的各种无线电环境，这部分内容见第3.6节。

步骤5：确定需要用来传送所提供业务量的系统容量。将在第4.1和第4.2节中分别给出对电路交换和分组交换服务类别进行容量计算的算法。

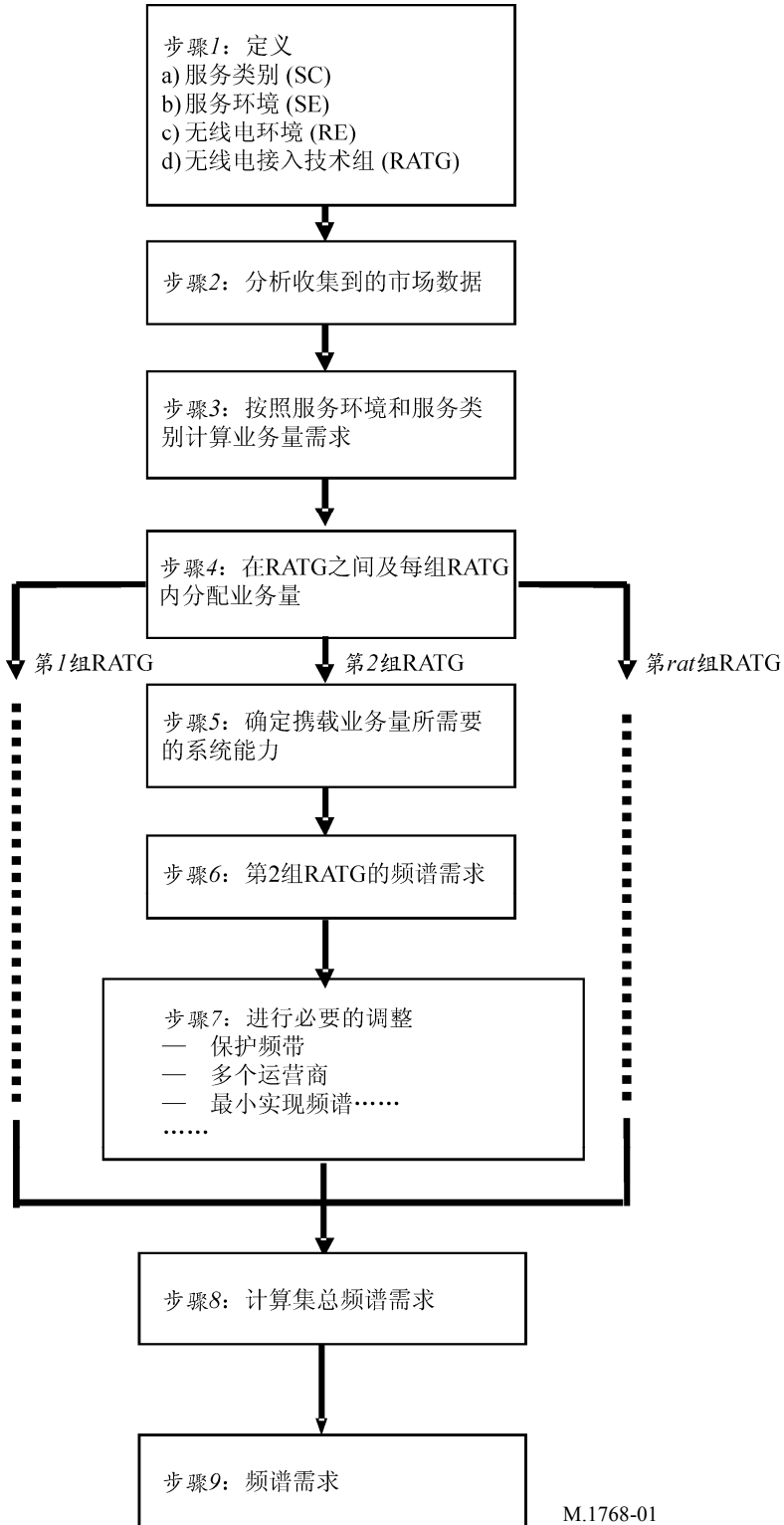
步骤6：计算RATG1和RATG2的频谱需求，这部分内容见第4.3节。

步骤7：进行必要的调整，以顾及实际的网络实施，如第5节所述。

步骤8：计算集总频谱需求，如第6节所述。

步骤9: 得出RATG1和RATG2的频谱需求, 并将其作为输出。

图1
一般频谱计算方法的流程图



3.4 定义

在本节中，定义了所有需要的输入参数和相关的分类。

以下各节包括了本方法所需参数的表格。如在相应表格中所显示的那样，在这些表格中的参数值应被视为示例。

首先，引入了服务类型和业务量等级，以反映可能的可行峰值数据速率以及一个服务可能的业务量配置文件。服务类别被定义为服务类型和业务量等级的一个组合。

定义了服务环境，用于在用户评定一个服务及他们所在地理地区的业务量配置文件时对该地区进行分类。服务环境被定义为服务使用模式及电信密度的一个组合。

定义了无线电环境，用于反映向在服务环境中的用户提供该服务的无线电基础设施。定义无线电环境是为了体现不同无线电部署的概念。

定义了不同的RATG，已顾及可用来提供这些服务的更广泛的地面通信市场。

3.4.1 服务类别

规定服务类别（SC）为表1中所示的服务类型和业务量等级的一种组合。

表1
服务类别

业务量等级 \ 服务类型	会话	流媒体	互动	背景
超高速多媒体	SC1	SC6	SC11	SC16
高速多媒体	SC2	SC7	SC12	SC17
中速多媒体	SC3	SC8	SC13	SC18
低速数据和低速多媒体	SC4	SC9	SC14	SC19
甚低速数据 ⁽¹⁾	SC5	SC10	SC15	SC20

⁽¹⁾ 包括语音和SMS。

3.4.1.1 服务类型

用峰值比特率对服务类型进行分类。可以将要求相似数据速率的服务一起集合到一个共同的类别中。不同的服务被划分成如表2中所示的五种服务类型。

表2
服务类型及其峰值比特率

服务类型	峰值比特率
甚低速数据	< 16 kbit/s
低速数据和低速多媒体	< 144 kbit/s
中速多媒体	< 2 Mbit/s
高速多媒体	< 30 Mbit/s
超高速多媒体	30 Mbit/s至100 Mbit/s/1 Gbit/s

a) 甚低速数据

这种服务类型要求最高16 kbit/s的峰值比特率。2010年之后，将会有对这些语音及简单消息服务的甚低速数据应用的需求。此外，在传感器通信和/或低比特率数据遥测领域中的一些应用预计也将划归该类别，成为无处不在的通信。

b) 低速数据和低速多媒体

这种服务类型支持最高144 kbit/s的数据速率。该服务类型考虑了IMT-2000之前的数据通信应用。

c) 中速多媒体

这种服务类型支持最高2 Mbit/s的峰值比特率。将需要这种类型来保持与当前IMT-2000应用的兼容性。

d) 高速多媒体

这种服务类型涵盖了高数据速率应用，包括多媒体视频流服务，它们在固定有线通信系统中是采用xDSL服务来提供的。

e) 超高速多媒体

这种服务类型包括超高数据速率多媒体应用，目前在有线通信系统的情况下是采用光纤到户（FTTH）服务来提供的。

3.4.1.2 业务量等级

本方法应用了ITU-R M.1079建议书中提出的业务量等级，它从用户的角度对IMT-2000定义了4种服务质量（QoS）等级：

- 会话级服务；
- 互动级服务；
- 流媒体级服务；
- 背景级服务。

这些等级之间的主要区分因素是该应用对延迟的敏感程度如何：会话级涉及对延迟非常敏感的那些应用，而背景级是对延迟最不敏感的QoS等级。

对基于ITU-R M.1079建议书的业务量等级，会话级和流媒体级是采用电路交换来提供服务的，而背景级和互动级则是采用分组交换来提供服务的。

a) 会话级

这种机制最著名的应用就是电话语音。但是有了互联网和多媒体，许多新的应用也将需要这种机制，例如，网络电话（VoIP）和视频会议工具。实时会话总是在有生命的（人类）终端用户的对等端（或组）之间进行的。实时会话机制的特性表现在传输的时间延迟必须要低，因为：

- 该机制的会话性质；
- 同时，必须像实时信息流那样保持信息流的信息实体之间的时间关系（变化）。

最大的传输延迟由人类对视频和语音会话的感知给定。因此，可接受传输延迟的限值是非常严格的，因为不能提供足够低的传输延迟将引起无法接受的质量缺失。因而该传输延迟要求明显地比互动应用的往返延迟低，且更为严格。

b) 互动级

当终端用户，或者是一个机器，或者是一个人，在线从远端设备（例如一个服务器）请求数据时，将应用这种机制。人类与远端设备互动的例子有：网页浏览、从数据库取数据、接入服务器。机器与远端设备互动的例子有：轮询测量记录和自动数据库查询（遥控机器）。

互动业务量是另外的传统数据通信机制，其总体层面的特性表现在终端用户的请求响应模式。在消息的目的地有一个实体，它在一定的时间内等待接收消息（响应）。因此，往返延迟时间是关键的属性之一。另外一个特性就是必须要透明传输（具有低比特差错率）包的内容。

互动业务量 – QoS的基本特性：

- 请求响应模式；
- 保持有效负载的内容。

c) 流媒体级

当用户在看（听）实时视频（音频）时，将会用到实时流媒体机制。实时数据流总是指向一个有生命（人类）的目的地。它是一个单向传输。

该机制是数据通信中的一个新生事物，对电信和数据通信系统都提出了很多新的要求。其特性是一个流内各信息实体（即取样、包）之间的时间关系（变化）必须保持不变，尽管它对低传输延迟没有任何要求。

为了保持该流媒体信息实体之间的时间关系（变化），端对端流的延迟变化必须加以限制。但是，因为流媒体通常在接收端（在用户设备里）是时间对准的，传输媒介经历的最高可接受延迟变化是由应用的时间对准功能的能力给出的。因此，可接受的延迟变化比人类感知极限所给定的延迟变化要大得多。

实时流媒体 – QoS的基本特性：

- 单向连续流媒体；
- 保持流媒体信息实体之间的时间关系（变化）。

d) 背景级

当终端用户，通常是一台计算机，在背景中发送和接收数据文件时，将应用该机制。实例有电子邮件、SMS、数据库下载以及测量记录接收的背景传送。

背景业务量是传统的数据通信机制之一，其总体层面的特性是在等待接收数据的目的地处缺少一定的时间限值这样一个参数，但例外是对延迟仍然有一定约束，因为对于任何实际用途而言，数据如果收到太晚，基本上就没有用了。该机制因此或多或少对传送时间是不敏感的。另外一个特性是必须要透明传送（具有低比特差错率）包的内容。

背景业务量 – QoS的基本特性：

- 目的地在一定的时间并未等待接收数据；
- 保持有效负载的内容。

背景应用是一个不携带延迟信息的应用。原则上，在该类别中对应用的唯一要求是应将信息本质上无差错地提供给用户。但是，要强调的是，对延迟仍然有一定约束，因为对于任何实际用途而言，数据如果收到太晚，基本上就没有用了。

3.4.1.3 服务类别参数

服务类别或者用从市场研究得到的参数来表征，或者用从其他来源得到的参数来表征。以下参数是从ITU-R M.2072报告得到的：

- 用户密度（用户/km²）
- 每用户进程到达速率（进程/（s·用户））
- 平均服务比特率（bit/s）
- 平均进程持续时间（s/进程）
- 移动性比率。

前四个参数表征了不同服务类别的需求，而移动性参数则用于第3.6节中的业务量分配中。终端移动性与应用的使用场合密切相关。ITU-R M.1390建议书定义移动性的类型如下：

- 在建筑物中；
- 步行；
- 车辆。

需求取决于移动台的速度。在ITU-R M.2072报告的市场研究中，移动性分成下面几个等级：

- 静止 (0 km/h)
- 低速 (> 0 km/h且< 4 km/h)
- 高速 (> 4 km/h且< 100 km/h)
- 超高速 (>100 km/h且< 250 km/h)。

这些类别的范围限值应与蜂窝无线网络的典型特性相关联。对小的蜂窝小区，一个用户在切换之间停留在一个蜂窝小区中的最小时间要求要明显地长于切换的发起和执行时间。因此，对小的蜂窝小区，蜂窝小区的尺寸限制了所支持的最大速度。出于这个原因，通常限制微微蜂窝小区最多用于支持步行速度（最高3-10 km/h），微蜂窝小区最多支持50 km/h的市内车辆速度，而移动蜂窝无线网络的宏蜂窝小区则用于覆盖剩下的用户速度范围。为了在本方法中应用移动性等级，将来自市场研究的移动性等级重新解释如下：

- 静止/步行 (0-4 km/h)
- 低速 (> 4 km/h且< 50 km/h)
- 高速 (> 50 km/h)。

就本方法而言，从市场研究得到的“高速”移动性等级的业务量被拆分成“低速”和“高速”移动性等级。这样的拆分需要考虑在第5.4.2节中对所考虑的服务环境引入的属性，它可能在不同的服务环境 m 中导致不同的拆分因子 J_m 。在表3和表4中给出了业务量拆分到不同移动性等级的映射，其中的 J_m 值仅为示例：

表3
移动性等级的映射

市场研究中的移动性	本方法中的移动性
静止	静止/步行
低速	
高速	低速 (J_m 的分数)
	高速 (分数 $1 - J_m$)
超高速	

表4
对在不同服务环境中的移动性等级进行映射的 J 值举例

服务环境 m	J_m 值
1	1
2	1
3	1
4	1
5	0.5
6	0

除了在第3.5.2节中计算出的市场相关服务类别参数外，本方法还需要一些无法从ITU-R M.2072报告得到的参数。这些参数在表5中列出，在第4节的容量计算中需要它们。

表5
作为频谱计算算法输入的服务类别参数

服务类别	SC1	SC2		–		SC20
平均包长度 (bit/包)		–		–		
包长度的二阶矩 ⁽¹⁾ ((bit/包) ²)		–		–		
允许的平均包延迟 (s)		–		–		
允许的阻塞率 (%)		–		–		

⁽¹⁾ 一个随机变量的二阶矩是与该随机变量的变化相关的一个标量值。

3.4.2 服务环境

服务环境表示共同的服务使用和数量条件。

规定服务环境 (SE) 为服务使用模式和电信密度的一种组合。

3.4.2.1 服务使用模式

规定服务使用模式为在一个给定服务区域内共同的用户行为。

服务使用模式是根据使用相似服务并期望相似服务质量的用户所在区域来进行分类的。本方法采用以下服务使用模式：

- 家庭
- 办公室
- 公共区域。

3.4.2.2 电信密度

按照ITU-R M.1390建议书的规定，当考虑服务环境时，人口密度以及每个人的设备数目也是重要的因素。因此，将根据这些因素把地理地区划分成电信密度类别。

每个电信密度参数可由人口密度和通信设备的密度来表征。电信密度分为如下几类：

- 稠密市区
- 郊区
- 乡村。

3.4.2.3 服务环境的定义与属性

规定服务环境为表6中所示的电信密度与服务使用模式的如下组合。

为了让读者更为清晰地了解每种服务环境的概念，表7示出了可能的用户分组以及每种SE的示范应用。

首先，必须要对每种电信密度分别计算频谱需求。通过选择三种电信密度区域（稠密市区、郊区和乡村）频谱需求中的最大值，计算出最终的频谱需求。

表6
服务环境的确定

电信密度 服务使用模式	稠密市区	郊区	乡村
家庭	SE1	SE4	SE6
办公室	SE2	SE5	
公共区域	SE3		

表7
用户分组和服务环境应用示例

	用户分组	应用
SE1	私人用户、商业用户	语音、互联网接入、游戏、电子商务、远程教育、多媒体应用
SE2	商业用户、中小型企业	语音、互联网接入、视频会议、电子商务、移动商务应用
SE3	私人用户、商业用户、公共服务用户（例如公交车司机、应急服务）、旅行者、销售人员	语音、互联网接入、视频会议、移动商务应用、旅游信息、电子商务
SE4	私人用户、商业用户	语音、互联网接入、游戏、电子商务、多媒体应用、远程教育
SE5	商业用户、企业	语音、互联网接入、电子商务、视频会议、移动商务应用
SE6	私人用户、农场、公共服务用户	语音、信息应用

3.4.3 无线电环境（RE）

RE是由分级蜂窝小区层构成的一个网络中的蜂窝小区层来定义的，即宏蜂窝小区、微蜂窝小区、微微蜂窝小区及热点蜂窝小区。本方法采用了不同无线电环境的蜂窝小区面积作为计算的输入。蜂窝小区面积对取决于业务量数值的频谱需求有着直接的影响。自然，必须要在网络部署成本和频谱需求之间找出一个平衡。除了与这两个因素有关的对尺寸的限制外，还有技术限制。技术的上限是由传播条件、终端发送功率限制以及在较小程度上由延迟的扩散来确定的。

蜂窝小区尺寸的下限是由不利干扰条件的增加来决定的，例如，相互干扰的蜂窝小区之间过分频繁的视线条件的出现。假设该下限与部署成本施加的限制相比可以忽略不计。

由于微蜂窝小区、微微蜂窝小区及热点地区的部署在不同电信密度区域之间变化不大，假设那些蜂窝小区层的相同“最大”蜂窝小区面积能够用于频谱计算方法中。但该情形对宏蜂窝小区是不同的，电信密度对目标蜂窝小区面积有影响，对基站的部署也同样。因此，导致了宏蜂窝小区的蜂窝小区面积在频谱需求计算中取决于电信密度。在表8中定义了每种RE和电信密度的最大蜂窝小区面积示例。这些蜂窝小区面积值是所考虑的电信密度的特征值。

表8

每种RE的最大蜂窝小区面积示例 (km²)*

RE	电信密度		
	稠密市区	郊区	乡村
宏蜂窝小区	0.65	1.5	8.0
微蜂窝小区 ⁽¹⁾	0.1	0.1	0.1
微微蜂窝小区 ⁽¹⁾	1.6E-3	1.6E-3	1.6E-3
热点地区 ⁽¹⁾	6.5E-5	6.5E-5	6.5E-5

* 该示例对于电信密度覆盖率低的大面积场合不适用。

⁽¹⁾ 假设这些环境的蜂窝小区尺寸与电信密度无关。

RE的可用性取决于服务环境。在实践中，每种无线电环境，例如微微蜂窝小区，只能覆盖某一特定服务环境总面积的一定百分比X。出于这个原因，表9定义了每种SE中每种RE的人口覆盖百分比。表9中的数值是示例值。表9还确定了可能的SE与RE组合。在一定条件下，人口覆盖百分比可以是零，这意味着在特定SE中不部署特定的RE。在第3.6节中，人口覆盖百分比被用于在RE之间分配业务量。

表9

每种SE中无线电部署环境人口覆盖百分比示例

SE	RE			
	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区
SE1	100	0	0	80
SE2	100	0	20	80
SE3	100	80	20	10
SE4	100	0	0	80
SE5	100	20	20	20
SE6	100	0	10	50

3.4.4 RATG

本方法考虑了总的地面通信市场，根据ITU-R M.1645、ITU-R M.1457和ITU-R M.2012建议书，它将由各种通信方式从服务和网络方面来提供。可以确定若干RATG。本方法把对总的地面通信市场预测的总业务量分配给已确定的RATG，它们是：

第1组：IMT之前的系统、IMT-2000及其增强型系统。

这一组涵盖了数字蜂窝移动系统、IMT-2000系统及其增强型系统。

第2组：ITU-R M.2012建议书中所描述的超IMT系统。

第3组：现有的无线电LAN及其增强型系统。

第4组：数字移动广播系统及其增强型系统。

在图1所示的本方法流程图中，步骤4之前考虑所有的4个RATG，而从步骤5开始则仅仅考虑RATG1和RATG2。

每组RATG都由表10a至表10d中所列出的参数来表征。假设这些参数在上行链路和下行链路中是相同的，因此对每个参数仅需要一个单一数值。

特定的RATG采用移动组播模式可让某些服务类别进一步受益。移动组播应被理解为针对一群接收者提供的传输。需要一个上行链路，例如用于组群管理。能够以移动组播传输模式有效提供的服务的实例包括移动电视类型的服务和低数据速率的发信服务。由于这两种传输模式的频谱效率可以明显不同，需要分别的面积频谱效率值。

表10a

RATG1所需的无线电参数示例

属性	RATG1				
	数值				
	单位	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区
应用数据速率	Mbit/s	1	1	2.5	—
支持的移动性等级		静止/步行、低速、高速	静止/步行、低速	静止/步行	—
运营商之间的保护频带	MHz	0	0	0	—
每种RE每个运营商的最小部署	MHz	20	20	20	—
重叠网络数目	数目	5	5	5	—
每种RE每个运营商的粒度部署	MHz	20	20	20	—
灵活频谱应用 (FSU) 的可能性	布尔变量	否	否	否	—
FSU余量	因数	1	1	1	
典型工作频率	MHz	< 2 700	< 2 700	< 2 700	—
对组播的支持	布尔变量	是	是	是	—

该示例对于电信密度覆盖率低的大面积场合不适用。

表10b

RATG2所需的无线电参数示例

属性	RATG2				
	数值				
	单位	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区
应用数据速率	Mbit/s	50	100	1 000	1 000
支持的移动性等级		静止/步行、低速、高速	静止/步行、低速	静止/步行	静止/步行
运营商之间的保护频带	MHz	0	0	0	0
每种RE每个运营商的最小部署	MHz	50-100	50-100	100	100
每种RE每个运营商的粒度部署	MHz	20	20	20	20
重叠网络数目	数目	1-4	1-4	1-4	1-4
灵活频谱应用 (FSU) 的可能性	布尔变量	是	是	是	是
FSU余量	因数	1	1	1	1
面积频谱效率	bit/s/Hz/蜂窝小区	2-4	2-5	3-6	5-10
对组播的面积频谱效率	bit/s/Hz/蜂窝小区	1-1.5	1-2.5	1.5-3	2.5-5
典型工作频率	MHz	< 6 000	< 6 000	< 6 000	< 6 000
对组播的支持	布尔变量	是	是	是	是

表10c

RATG3所需的无线电参数的范例

属性	RATG3				
	数值				
	单位	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区
应用数据速率	Mbit/s	—	—	50	100
支持的移动性等级		—	—	静止/步行	静止/步行
对组播的支持 (是 = 1, 否 = 0)		是			

表10d

RATG4所需的无线电参数示例

属性	RATG4	
	单位	宏蜂窝小区
应用数据速率	Mbit/s	2
支持的移动性等级		所有 (静止/步行、低速和高速)

注1 – 对RATG4仅考虑宏蜂窝小区。

频谱效率在表11中列出。本方法将面积频谱效率值视为本方法的输入。对组播传输模式，面积频谱效率表具有不同的数值。面积频谱效率应作为从满负荷无线网络中所有用户得到的平均数据吞吐量算出的值来理解和使用；在分组交换服务的IP层和电路交换服务的应用层，用户均匀分布在无线电部署环境的区域中。频谱效率和最大可达蜂窝小区边缘数据速率应与典型的工作频率相对应。在这些频谱效率值中应考虑分组交换服务中可能的重新传送。

表11

一组RATG的面积频谱效率矩阵

电信密度	第 <i>rat</i> 组RATG			
	无线电环境			
	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点蜂窝小区
稠密市区	$\eta_{1, rat, 1}$ (bit/s/Hz/蜂窝小区)			
郊区				
乡村				

3.4.5 服务环境、RATG及无线电环境之间的关系

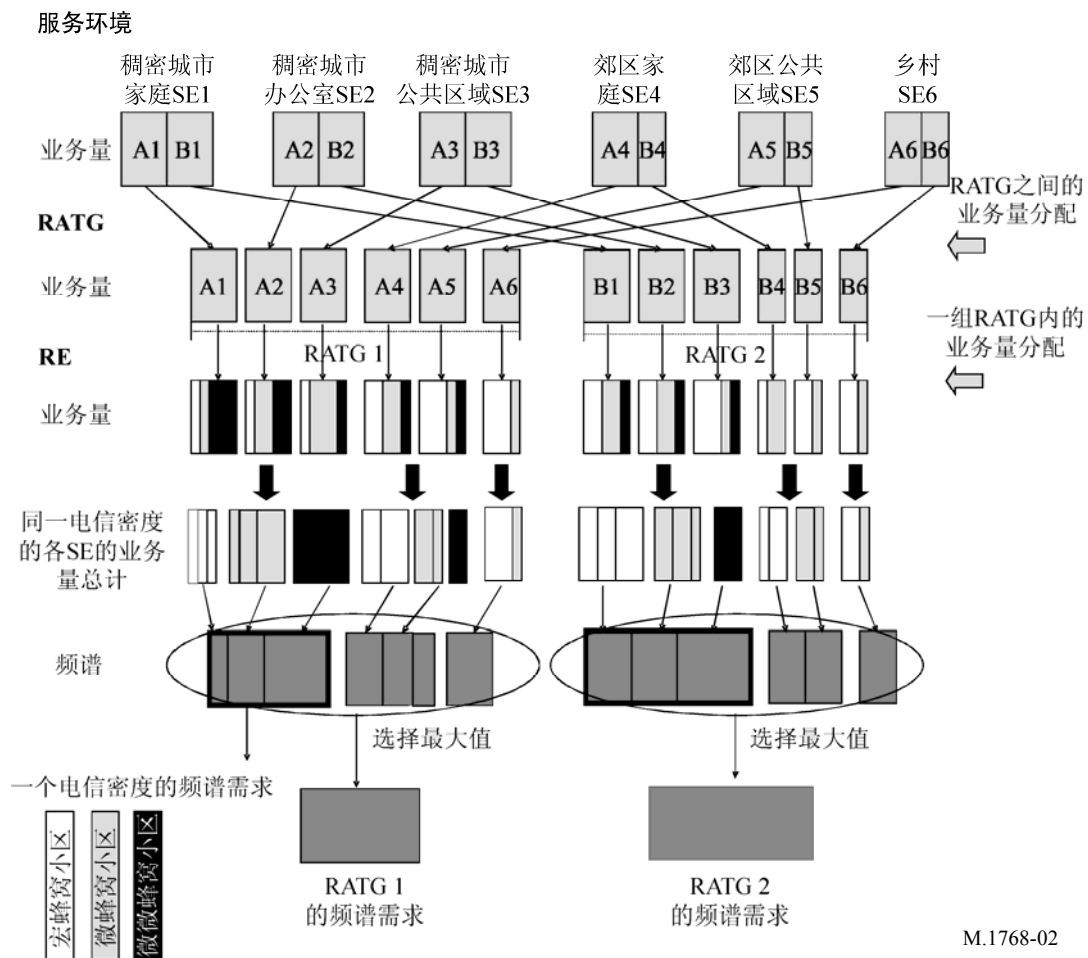
在频谱计算中应分别考虑服务环境和无线电环境，以便仅预测服务环境下的业务量需求，而总的频谱需求则用不同的RATG及其可能的无线电环境来计算。频谱需求要在每个电信密度内计算，但最终的频谱需求则必须选择所有电信密度的频谱需求中的最大值。因此，应首先根据与各服务环境相对应的电信密度将各服务环境中的业务量累加。

图2显示了对6种服务环境、2组RATG和3种无线电环境进行业务量分配的一个例子。在每种服务环境中的业务量要求可以分配给各组RATG。例如，在图2中“稠密市区家庭”服务环境的业务量分成2个部分，分别是对于RATG1的业务量数值A1和对于RATG2的B1。“稠密市区办公室”、“稠密市区公共区域”、“郊区家庭/公共区域”及“乡村”服务环境也具有对每组RATG的业务量数值，如图2所示。

因为每组RATG支持一种或多种RE，对在每种SE中每组RATG业务量需求的数量可以分配到它所支持的各RE中，如图2中的第三行所示。分配给属于相同电信密度的各SE的业务量在图2的第四行中累加。每组RATG对其组成RE具有其自己的部署情况以及自己的频谱效率。这些部署情况，例如蜂窝小区尺寸，也会对频谱效率有所影响。考虑到这些因素，能够采用业务量需求和频谱效率系数来计算频谱需求，而且能够基于电信密度、RATG及RE构成的每种情况分别计算频谱需求。图2的第五行中所示的矩形表示了在不同电信密度中RATG的频谱需求。一组RATG的频谱需求将是对该RATG所有电信密度的频谱需求中的最大值。

图2

SE、RATG和RE中的业务量分配



M.1768-02

3.5 对采集到的市场数据的分析

3.5.1 市场数据的采集

市场数据是通过回答服务意见文档中的调查表来采集的（图1中的步骤2）。

为了调查未来市场及应用的倾向，调查表包括了以下项目：

- 对现有移动业务的服务与市场调查；

- 关键市场参数；
- 对IMT服务及市场的预测，包括：
 - 服务问题；
 - 市场问题；
 - 初步业务量预测；
 - 相关信息；
- 对其他无线电系统的服务及市场预测；
- 未来市场的驱动因素；以及
- 对未来服务的任何其他观点。

在ITU-R M.2072报告中对调查表的回答进行了汇总和分析，特别是，在该报告的第8节中对本方法的输入数值进行了描述。提供了2010年、2015年和2020年三个时间的市场数据。

在ITU-R M.2243报告中提供了更多近期市场数据。

3.5.2 数据分析

市场数据分析所用的术语

应用 (Application): 一种可对所有被统计的服务进行简明、恰当分类的足够普遍和必要的應用。

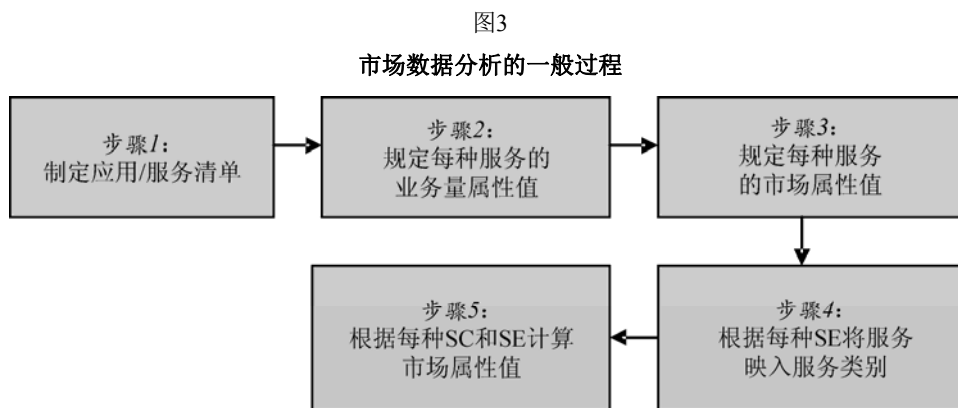
服务(Service): 服务是构成一种应用的基本元素。假设构成一种应用的这些服务是独立发生的。例如，VoD服务的使用不依赖于AoD服务的使用。第二个假设是映射到相同服务类别的所有服务在市场属性上具有同样的和独立的特性。

市场属性参数 (Market attribute parameters): 与用户的感受相关。这些数值是从市场数据得到的。

业务量属性参数 (Traffic attribute parameters): 与某种服务的业务量特性相关。这些数值是通过分析技术趋势得到的。

3.5.2.1 一般过程

图3示出了市场数据分析的一般过程。



3.5.2.2 制定应用/服务清单

制定所有未来可预见的应用/服务清单。由于应用与服务清单是计算频谱的重要因素之一，所以从某种可对所有被统计的服务进行简明、恰当分类的足够普遍和必要的应用中选择的的服务应不重叠。

在该步骤中，应用与服务清单必须是固定的，必须填写表12的第一和第二列。应按照应用/服务类别的属性，对所得到的列入表12中所示的应用/服务类别中的应用进行分类。为了使估算可靠，这些类别应涵盖所有可预见的应用类别。

表12

应用/服务类别及其业务量属性的范例

应用	服务		业务量属性	
			平均服务比特率	平均进程持续时间
现有应用	语音（多媒体和低速数据/会话）		64 kbit/s	
	视频电话（中速多媒体/会话）		384 kbit/s	
	包	IM，电子邮件（甚低速数据/背景）	1 kbit/s	
		视频邮件（中速多媒体/背景）	512 kbit/s	
		移动广播（高速多媒体/流媒体）	5 Mbit/s	
		互联网接入（高速多媒体）	10 Mbit/s	
城镇监视系统	语音（多媒体和低速数据/会话）		64 kbit/s	
	视频通信（中速多媒体/会话）		384 kbit/s	
	用于城镇信息监控的中速数据传输（中速多媒体/互动）		384 kbit/s	
	用于餐馆预订等的低速数据传输（甚低速数据/互动）		1 kbit/s	
	文件传送（超高速多媒体/背景）		50 Mbit/s	

3.5.2.3 规定每种服务的业务量属性值

利用在图3步骤1中所产生的应用与服务列表，在步骤2中确定业务量属性参数的数值，例如针对每种服务的平均服务比特率、平均进程持续时间。

通过检验在步骤1中所得出的服务，提取出如表12中所示的业务量属性。该表提供以下典型数值：

- 平均服务比特率；
- 平均进程持续时间。

若在所统计的市场数据中未规定这些数值，则这些数值用于解析各种应用的被统计市场数据。

3.5.2.4 规定每种服务的市场属性值

不同RATG所具有的业务量随时间变化和随地域变化的特性为通过利用协同网络及灵活频谱应用 (FSU) 机制而增加频谱利用效率提供了机会。这一概念背后的基本设想是不再具有分配给每组RATG的固定量值的和地域上等量的频谱，而是允许RATG在频谱不使用时可以互相提供频谱。若正在采用的是一种完善的FSU机制，则划分给无线电接入网 (RAN) 的频谱将只有该业务量需求所要求的那么多。作为随着一天中的不同时刻而变化的用户行为的结果，在大部分RAT中可以发现这些随时间变化的模式。

为了计算某组RATG的动态频谱需求，需要为一个单独的时间间隔 t 提供市场属性值。通过应用FSU所能实现的频谱节约量将随着提供市场属性值所用的时间分辨率的增加而增加。

为了对市场数据进行分析，需要确定用户密度和在每种服务环境及时间间隔中每种服务每用户进程到达速率的数值。此外，在业务量分配中要用到第5.4.1.3节中所定义的移动性比率。表13显示的示例是对市场和服务调查表的预期答复。

3.5.2.5 根据每种服务环境将服务映入服务类别表

根据表13，每种服务能够被映入如表1中所示的由服务类型和业务量等级所组成的表中。在表13中列出的所有服务应被映入表1中。将根据每一服务环境生成该表，这样就能够为所有服务环境建立6个表格。

3.5.2.6 根据每种SC和SE计算市场属性值

表13显示了每种服务的市场属性值。在该步骤中，市场属性值是对每一SC、SE和时间间隔进行计算的。结果显示于表14中。市场属性值是对上行链路和下行链路分别提供的。

对SE m 、时间间隔 t 及SC n 所要求的数值是从每种服务的参数值按如下方式推导出来的：

表13

对市场及服务调查表的预期答复

应用	服务 s : 指数	SC n	SE m	市场属性							
				用户密度 $U_{m,t,s}$ (用户/km ²)	进程到达速率/用户 $Q_{m,t,s}$ (进程/(s·用户))	平均服务比特率 r_s (bit/s)	平均进程持续时间 $\mu_{m,t,s}$ (s/进程)	移动性比率 (%) $MR_{m,s}$			
								静止	低速	高速	超高速
城镇监控系统	城镇信息监控 $s = 1$	18	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
			2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
			3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	预留 $s = 2$										

某种服务类别的用户密度 (用户/km²) 是映入该服务类别的每种服务的各用户密度的总和。

数学表达式如下:

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

其中 $U_{m,t,n}$ 和 $U_{m,t,s}$ 分别表示服务类别 n 的用户密度以及在服务类别 n 中服务 s 的用户密度。

某种服务类别的每用户进程到达速率 (进程/(s·用户)) 是映射到该服务类别的每种服务的每用户进程到达速率的加权平均值。每种服务的权重就是用户密度。

数学表达式如下:

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

其中 $Q_{m,t,n}$ 和 $Q_{m,t,s}$ 分别表示服务类别 n 的每用户进程到达速率和在服务类别 n 中服务 s 的每用户进程到达速率。

某种服务类别的平均进程持续时间 (s/进程) 是映射到该服务类别的每种服务的平均进程持续时间的加权平均值。该权重就是每区域进程到达速率。用于进程持续时间的的时间单位“秒”有别于用于简单时间间隔的时间单位“s”。

数学表达式如下：

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

其中：

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

此处 $\mu_{m,t,n}$ 和 $\mu_{m,t,s}$ 分别表示服务类别 n 的平均进程持续时间和在服务类别 n 中服务 s 的平均进程持续时间。

某种服务类别的平均服务比特率 (bit/s) 是映射到该服务类别的每种服务的平均服务比特率的加权平均值。该权重就是每个区域的业务量数值（在一个单位时间内到达的所有进程的平均持续时间的总和）。

数学表达式如下：

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

其中：

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

此处 $r_{m,t,n}$ 和 $r_{m,t,s}$ 分别表示服务类别 n 的服务数据速率和服务类别 n 中服务 s 的服务数据速率。

某种服务类别的流动性比率是映射到该服务类别的每种服务的每用户每个流动性比率的加权平均值。假设该流动性比率不依赖于时间。每种服务的权重是作为在该服务环境中某种服务所提供的业务量与该服务类别提供的总业务量的比值来计算的。

数学表达式如下：

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

其中 $MR_market_{m,t,n}$ 和 $MR_market_{m,s}$ 分别表示服务类别 n 的流动性比率和在服务类别 n 中服务 s 的流动性比率。请注意，这个等式对所有流动性情况都适用。

上文得出的静止 (sm)、低速 (lm)、高速 (hm) 以及超高速 (shm) 移动性的市场研究流动性比率 MR_market 需要映入静止/步行 (sm)、低速 (lm) 以及高速 (hm) 移动性的本方法流动性比率 MR ，用于第3.6节的业务量分配中。该映射是按照第3.4.1.3节来完成的，并采用了表4中所给出的 J_m 因子。静止移动性的流动性比率从下式得到：

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

低速移动性的流动性比率如下：

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

高速移动性的流动性比率如下：

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

表14

在某种服务环境中服务类别的市场研究数据

服务类别	服务环境					
	SE1	SE2	SE3	SE4	SE5	SE6
SC1	$U_{1,t,1}$ $Q_{1,t,1}$ $\mu_{1,t,1}$ $r_{1,t,1}$ $MR_{1,t,1}$	$U_{2,t,1}$ $Q_{2,t,1}$ $\mu_{2,t,1}$ $r_{2,t,1}$ $MR_{2,t,1}$	...	...	...	$U_{6,t,1}$ $Q_{6,t,1}$ $\mu_{6,t,1}$ $r_{6,t,1}$ $MR_{6,t,1}$
SC2	$U_{1,t,2}$ $Q_{1,t,2}$ $\mu_{1,t,2}$ $R_{1,t,2}$ $MR_{1,t,2}$	...	...	...	...	...
SC3	...	...	...	...	...	...
...

3.6 在无线电接入技术之间以及在每组RATG内的无线电环境之间分配业务量

对每一服务环境、时间间隔及服务类别得到的业务量将分配给可能的RATG和无线电环境。这对应于图1中所示本方法一般流程图中的步骤4。

每种服务环境得到一组或多组RATG的支持。因此，每种SE的业务量可进一步在每组RATG之间分配。

以下输入数据被用于业务量分配：

- 由SC和SE产生的业务量数值，它们是作为图1中步骤3的输出得到的，见表14。
- 符合图1中步骤1的服务环境定义矩阵，包括每种SE情况下可行的RE及人口覆盖百分比，见表9。
- 符合图1中步骤1的RATG定义矩阵，见表10a至表10d。
- 可用RATG之间的分配比率，见表16。

作为输出，该过程产生了在每一SE m 和时间间隔 t 中每种服务类别 n 的提供业务量，分配给各RATG和各RE。若采用基于预留的时序安排（电路交换）来为该SC提供服务，输出将作为在每一SE m 和时间间隔 t 中的SC n 的平均进程到达速率与平均服务比特率而给出，分配给RATG rat 的每一蜂窝小区或扇区及分配给每一RE p 。这些数值在第3.6.3.1节中计算。若采用基于数据包的时序安排来为该SC提供服务，输出将作为在SE m 和时间间隔 t 中SC n 的集总比特率而给出，分配给RATG rat 的每一蜂窝小区或扇区及分配给每一RE p 。这些数值在第3.6.3.2节中计算。

3.6.1 分配比率

进程到达速率按照分配比率 $\xi_{m,t,n,rat,p}$ 分配给RATG和RE。由于业务量数值不同，对于上行链路和下行链路业务量，分配比率将对在不同SE和时间间隔中不同的SC分别推导。

以下规则用于 $\xi_{m,l,n,rat,p}$ 因子的推导。这些规则服从在前一节中所定义的输入。

该分配比率分三个阶段确定。

阶段1确定哪种RATG与RE的组合无法支持在一个给定SE中的一个给定服务类别。将对应的分配比率设置为0，而对可能的组合则设置为1。阶段1将对以下情况设置分配比率为0：

- 用于单播服务类别的RATG4；
- 在符合表9中服务环境定义的所考虑的服务环境中不存在的RE；
- 来自表10a至表10d中RATG定义的给定RATG不支持的RE；
- RATG与RE的组合，其来自表10a至表10d中RATG定义的应用数据速率低于某特定SC所要求的应用数据速率，而该SC是从表14中SC的定义获得的；
- 不支持与表10a至表10d中高速移动性等级关联的整个速度范围的那些RATG的宏蜂窝小区RE。

阶段1的输出是已经被设置为0或1的组合概率的一个表格。表15给出了一个示例，它被限制于在一组RATG和一个时间间隔中的3种SE和6种SC。完整的表格应包括所有6种SE和20种SC。

表15

业务量分配阶段1之后的一组RATG和一个时间间隔中
SC、SE和RE的可能组合示例

服务类别	SE1				SE2				SE3			
	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区	宏蜂窝小区	微蜂窝小区	微微蜂窝小区	热点地区
SC ₁	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
SC ₂	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
SC ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SC ₅	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
SC ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

阶段2在RATG之间分配业务量。RATG分配比率取决于在每种RE和SE中可用的RATG。阶段1在表15中定义了在给定的SE中哪组RATG对每种RE和SC可用。在可用RATG之间的分配是采用在表16中给出的分配数值进行，这些数值是本方法的输入参数值。对于服务类别、无线电环境、服务环境及时间间隔的每种组合，从表16中给定组合可用的RATG所在的行读出RATG的分配比率，而给定组合由表15给出。表16中的值是分配数值的示例。

表16

可用RATG之间分配比率的示例

可用RATG	分配比率 (%)			
	RATG1	RATG2	RATG3	RATG4
1	100	–	–	–
2	–	100	–	–
3	–	–	100	
4	–	–	–	100
1, 2	20	80	–	
1, 3	20	–	80	
1, 4	10	–	–	90
2, 3	–	20	80	
2, 4	–	10	–	90
3, 4	–	–	10	90
1, 2, 3	20	20	60	
1, 2, 4	10	10	–	80
1, 3, 4	10	–	10	80
2, 3, 4	–	10	10	80
1, 2, 3, 4	10	10	10	70

阶段3 根据移动性比率和覆盖百分比在无线电环境之间分配业务量。

本方法定义了静止/步行、低速及高速移动性等级。移动性等级到无线电环境的映射如下：

高速移动性：	仅宏蜂窝小区
低速移动性：	微蜂窝小区和宏蜂窝小区
静止/步行：	所有无线电环境。

假设这种移动性等级到无线电环境的映射对所有RATG都是相同的。照此选择移动性等级的速度范围以及每种无线电环境所支持的速度最大值这一参数。

业务量分配遵循的原则是采用刚刚满足需求的支持最低移动性的无线电环境。原因是热点蜂窝小区和微微蜂窝小区通常提供更高的容量，而且比微蜂窝小区的频谱效率更高，这也同样适用于微蜂窝小区和宏蜂窝小区之间的关系。仅仅根据这个原则，基本上所有静止/步行业务量都属于热点和微微蜂窝小区，所有低速移动性业务量都属于微蜂窝小区，而所有高速移动性业务量都属于宏蜂窝小区（始终假设各自的无线电环境是可用的，否则业务量将属于下一个支持较高移动性的无线电环境）。但实际上某一特定服务环境的整个区域仅由每个无线电环境，例如微微蜂窝小区，覆盖到一定的百分比X。

表9定义了在哪种服务环境中哪种无线电环境的人口覆盖百分比。人口覆盖百分比是不依赖于RATG的。但若一个特定的RATG根本不支持一个特定的无线电环境，则应将该RATG/无线电环境组合的对应蜂窝小区边缘数据速率设置为0，这样，业务量分配的阶段1将强迫对应的分配比率为0。

人口覆盖百分比可从业务量密度的角度对能够分配给该无线电环境的那部分业务量设置一个限值。利用热点蜂窝小区、微微蜂窝小区、微蜂窝小区和宏蜂窝小区无线电环境的人口覆盖百分比信息 X_{hs} 、 X_{pico} 、 X_{micro} 和 X_{macro} ，该算法按如下比例将业务量分配给热点蜂窝小区、微微蜂窝小区、微蜂窝小区和宏蜂窝小区无线电环境：

$$\xi_{pico\&hs} = \min (X_{pico} + X_{hs}, MR_{sm}) \quad (9)$$

$$\xi_{micro} = \min (X_{micro}, (MR_{sm} + MR_{lm}) - \xi_{pico\&hs}) \quad (10)$$

$$\xi_{macro} = 1 - \xi_{pico\&hs} - \xi_{micro} \quad (11)$$

MR_{sm} 和 MR_{lm} 分别是静止和低速移动性等级中提供业务量的比率。这些等式假设：

$$MR_{sm} + MR_{lm} + MR_{hm} = 1 \quad (12)$$

业务量在热点蜂窝小区和微微蜂窝小区之间是根据热点蜂窝小区和微微蜂窝小区之间的人口覆盖比例关系来分配的：

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

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

对能够通过组播来提供的服务类别进行不同的处理。它们总是被分配给支持组播传输模式和给定服务类别的RATG，并分配给具有最大可用蜂窝小区的无线电环境，即对这些RATG的最大蜂窝小区尺寸而言分配比率被设置为1。这对应着组播服务由所有这些RATG同时提供的情况。在组播情况下不考虑人口覆盖百分比，因为组播业务量不考虑用户密度。作为这个原则的一个结果，可以看出，一种服务类别能够分配给多组RATG，由此形成的对所有RATG的分配比率之和可能超过1。

注1 – 本方法不考虑提供给相同蜂窝小区中不同服务环境的组播数据服务内容是相同还是不同（在组播数据相同的情况下，频谱需求低于组播数据不同的情况）。

3.6.2 进程到达速率的分配

在时间间隔 t 内分配给RATG rat 和无线电环境 p 的服务类别 n 和服务环境 m 的每区域进程到达速率 (进程/ (s · km²)) $P_{m,t,n,rat,p}$ 是利用以下等式从分配比率 $\xi_{m,t,n,rat,p}$ 、用户密度 $U_{m,t,n}$ 以及每用户进程到达速率 $Q_{m,t,n}$ （在第3.5.2.6节给出）计算出来的：

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

对于所有RATG指数 rat 和所有无线电环境指数 p ，分配比率之和等于1，即 $\sum_{rat} \sum_p \xi_{m,t,n,rat,p} = 1$ 。因此， $\sum_{rat} \sum_p P_{m,t,n,rat,p} = U_{m,t,n} \cdot Q_{m,t,n}$ 。

需要对来自一个蜂窝小区内所有用户的业务量进行累加。进程到达速率/蜂窝小区 (进程/ (s · 蜂窝小区)) 计算如下：

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

其中 $A_{d,p}$ 为在电信密度 d 和无线电环境 p 中RATG rat 的蜂窝小区面积 (km^2)，此处 d 由 m 唯一地确定（表6）。 $P'_{m,t,n,rat,p}$ 表示时间间隔 t 中在服务环境 m 、无线电环境 p 和RATG rat 内服务类别 n 的每蜂窝小区进程到达速率。

对移动组播传输模式，将采用另外的一个等式¹。

3.6.3 提供业务量的计算

为了计算频谱需求，需要知道每种服务类别的提供业务量。会话和流媒体等级（服务类别1至10）将采用电路交换来提供，而背景和互动等级（服务类别11至20）将采用分组交换来提供。因此，提供业务量是根据电路或分组交换计算方法所要求的输入值来计算的。业务量还需要对表6中所见的属于相同电信密度的各服务环境进行累加。

3.6.3.1 电路交换业务量

对电路交换，来自分配功能的进程到达速率 $P'_{m,t,n,rat,p}$ 和平均进程持续时间 $\mu_{m,t,n}$ 被用做容量计算的输入。从数学的角度，这个乘积等于以爱尔兰为单位衡量的提供业务量。

将不同电信密度 d 的每蜂窝小区进程到达速率与平均进程持续时间乘积的集总值合并成提供业务量 $\rho_{d,t,n,rat,p}$ ($\text{s}/(\text{s} \cdot \text{蜂窝小区})$)，算法如下：

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

该值表示在时间间隔 t 内在电信密度 d 、RATG rat 和无线电环境 p 的一个蜂窝小区中每单位时间到达的SC n 的所有进程的平均持续时间的总和。 $\rho_{d,t,n,rat,p}$ 的单位也采用（爱尔兰/蜂窝小区）。

电信密度 d 的平均服务比特率 $r_{d,t,n,rat,p}$ (bit/s) 的集总值按如下方式得出：

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

3.6.3.2 分组交换业务量

对分组交换服务类别，容量计算需要知道以 $\text{bit}/(\text{s} \cdot \text{蜂窝小区})$ 为单位的提供业务量。提供业务量是作为属于相同电信密度的各服务环境中的集总提供业务量给出的。 $T_{d,t,n,rat,p}$ 表示在电信密度 d 和不同时间间隔 t 中RATG rat 和无线电环境 p 的服务类别 n 的提供业务量。它从下式得到：

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

¹ 假设采用一个共用的无线电资源将组播服务类别同时提供给多个用户。因此，假设用户密度的影响可以忽略。因而，对支持移动组播的各RATG和对无线电环境分配业务量是通过分配进程到达速率 $P'_{m,t,n,rat,p} = \xi_{m,n,rat,p} \cdot Q_{m,t,n}$ 来实现的。

该值表示在时间间隔 t 内电信密度 d 、RATG rat 和无线电环境 p 的一个蜂窝小区中每单位时间达到的SC n 的所有进程中包括的比特数目的总和。

4 确定所需的系统容量和频谱需求

图1的步骤6是确定在每一电信密度 d 和时间间隔 t 中每一RATG rat 和无线电环境 p 所需的系统容量，该系统容量是在满足每一服务类别 n 的QoS要求的情况下得出“提供基本业务量”所必需的。电路交换（即基于预留的）和分组交换业务量所需的系统容量分别确定，以bit/s为单位。电路交换服务类别的数目以 N_{cs} 表示，基于分组的服务类别的数目以 N_{ps} 表示，其中 $N = N_{cs} + N_{ps}$ 表示服务类别的合计数目。

这些计算的结果分别是用于电路交换业务量和分组交换业务量的所需系统容量 $C_{d,t,rat,p,cs}$ 和 $C_{d,t,rat,p,ps}$ [bit/(s·蜂窝小区)]。

$C_{d,t,rat,p,cs}$ 表示满足在电信密度 d 、时间间隔 t 、RATG rat 和无线电环境 p 中所有电路交换（基于预留）服务类别的QoS要求所需的系统容量，而 $C_{d,t,rat,p,ps}$ 是满足在电信密度 d 、时间间隔 t 、RATG rat 和无线电环境 p 中所有分组交换服务类别的QoS要求所需的系统容量。

4.1 计算电路交换业务量所需的系统容量

电路交换（即基于预留的）服务类别所需的系统容量是由为达到一个规定阻塞概率而必需的服务信道数目和由信道数据速率确定的。众所周知的爱尔兰理论适合于计算为达到小于于或等于某一规定数值的阻塞概率所需的容量[Kleinrock, 1975]。用于确定电路交换进程所需的服务信道数目的输入参数如下：

- 以爱尔兰为单位的每个蜂窝小区或扇区的提供业务量 $\rho_{d,t,n,rat,p}$ （第3.6.3.1节）。
- 服务类别 n 的服务信道数据速率 $r_{d,t,n,rat,p}$ （第3.6.3.1节）。
- 最大可允许阻塞概率 π_n ，其数值在表5中给出（第3.4.1.3节）。

在下文中，为便于阅读， $\rho_{d,t,n,rat,p}$ 和 $r_{d,t,n,rat,p}$ 分别用 ρ_n 和 r_n 来表示。

考虑到集群增益，可以将爱尔兰B公式扩展到多维的情况，此时也允许每个呼叫同时占用几个信道，方式如下。假设 N_{cs} 等级的呼叫共用一组 v 个信道，并且等级 n 的每个呼叫同时需要 v_n 个信道 ($1 \leq n \leq N_{cs}$)。一个等级 n 的来话呼叫若发现空闲信道少于 v_n 个，则该呼叫被阻塞并且被丢失掉；令 $v \equiv (v_1, v_2, \dots, v_{N_{cs}})$ 。等级 n 的呼叫以独立于其他等级的抵达率 P_n 的泊松过程到达，并且它们具有平均值为 μ_n 的指数分布保持时间，这样等级 n 的提供业务量等于 ρ_n 。一个呼叫使用的所有信道在保持时间结束时被释放。

令系统状态为 $i \equiv (i_1, i_2, \dots, i_{N_{cs}})$ ，其中 i_m 是当前使用信道的等级 m 呼叫的数目。则稳态概率质量函数具有一个简单的乘积形式：

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

其中:

$$G(k) = \sum_{\{i:0 \leq v-i \leq k\}} \prod_{m=1}^{N_{cs}} \frac{(p_m)^{i_m}}{i_m!}, \quad 1 \leq k \leq v \quad (21)$$

此处 $v \cdot i \equiv \sum_{m=1}^{N_{cs}} v_m i_m$ 是系统状态为 i 时所用信道的数目。

然后, 等级 n 呼叫的阻塞概率由下式给出:

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

因为采用等式 (18) 对 $G(k)$ 进行的穷举法计算会陷入计算困难, 已经开发出几种有效的算法。其中, 由Kaufman [1981]和Roberts [1981]开发的一维回归计算方法既简单且计算上更优越。他们的计算方法被加以修改, 以适合在确定系统容量的反演问题中重复计算, 满足用户对阻塞概率的要求 [Takagi *et al.*, 2005]。

即, 从 $G(0) = 1$ 开始, 以回归方式计算 $G(k)$, $k = 1, 2, \dots, v$:

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

其中对于 $k < 0$, $G(k) = 0$ 。该计算方法可同时得出最多 v 个信道的系统的阻塞概率, 计算时间为 $O(N_{cs}v)$, 内存要求为 $O(v)$ 。

以上的模型和计算方法被用于在给出了信道总数 v 时计算服务类别 N_{cs} 中每一类别的阻塞概率。利用反演方法, 计算出信道的总数, 以满足用户所需的每种类别的阻塞概率的条件。通过将所需的信道总数乘以每信道比特率来得到系统容量。

为方便起见, 令 r (bit/s) 为每信道服务比特率的单位。当类别 n 的服务比特率为 r_n 时, 用于以上公式中的参数 v_n 由下式给出:

$$v_n = \lceil r_n / r \rceil, \quad 1 \leq n \leq N_{cs} \quad (24)$$

其中 $\lceil x \rceil$ 表示大于或等于 x 的最小整数 (上限函数)。这意味着, 采用 r 作为每种服务类别的数据速率单位来对信道的数目进行计数。

令 π_n 为用户所需的服务类别 n 的阻塞概率。则每个蜂窝小区所需的信道数目 κ 是作为满足以下条件的最小 v 而得到的:

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

最终, 所有电路交换类别所需的系统容量 $C_{d,t,rat,p,cs}$ (bit/ (s · 蜂窝小区)) 由下式给出:

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

4.2 计算分组交换业务量所需的系统容量

满足每种服务类别平均延迟要求所需的系统容量是采用一个排队模型来确定的，该模型适用于包的到达时间相互独立和包的长度任意分布的情况。在排队论中，该模型称为具有非抢占优先权的M/G/1排队模型或称为队头排队系统[Klienrock, 1976]。非抢占优先权意味着当具有比当前工作优先级高的一个工作到达时，对当前工作的服务不被中断，而是在开始对新到达的具有较高优先级工作进行服务之前将其完成。对每种基于分组的服务类别采用一种优先级水平，但也有可能将多种服务类别组合到一个优先级。对每种优先级水平，到达的包被存储到一个单独的队列中。在每种优先级水平的队列中，采用先到先服务（FCFS）的时序规则。

这里，一种RAT被模拟为仅具有单独一个分组信道，与真实RAT中并行使用的信道数目无关，因为缓存在一个队列中要通过一个或多个并行信道传送的多个包不可能有集群增益。当采用多个并行的中比特率信道，而不是与之容量相等的一个高比特率信道时，从分段及填充引起的辅助开销在这里被忽略掉。在排队系统中的服务持续时间是由包的长度和数据传输速率确定的。

要确定分组业务量所需的系统容量，需要知道以下输入参数：

- 对每种服务类别，来自第3.6.3.2节的每个蜂窝小区的每种服务环境的“提供基本业务量” $T_{d,t,n,rat,p}$ (bit/ (s · 蜂窝小区))。
- 在表5中给出的每种服务类别 n 的IP包长度分布的平均 s_n (bits/包) 及二阶矩 $s_n^{(2)}$ (bits²/包)。
- 在表5中给出的每种服务类别所要求的平均延迟 D_n 。
- 所有服务类别 n 的优先级等级，其中 $n = 1, 2, \dots, N_{ps}$ 。假设服务类别 $n = 1$ 具有最高的优先级，即服务类别 $n = 1$ 的IP包被最先提供服务。服务类别 $n = N_{ps}$ 具有最低优先级。服务类别的优先级顺序等于该服务类别的编号。

最后得出的服务类别 n 的每蜂窝小区IP包到达速率 λ_n (包/ (s · 蜂窝小区)) 是通过将“提供基本业务量”除以平均包长度（表5）而得到的：

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

为了便于阅读，指数 d 、 t 、 rat 和 p 被省略掉，所以一直到本节末尾， $\lambda_{d,t,n,rat,p}$ 都被简化为 λ_n 。

对所有服务类别的集总到达速率被表示为：

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

可以按照以下步骤计算获得服务类别 n 所要求的平均延迟所需的系统容量 C_n 。用要求最高容量的优先级水平表示总的所需系统容量，因为若满足标准最高的服务类别的QoS要求，则满足其他服务类别的要求绰绰有余。因此，总的所需系统容量由下式给出：

$$C_{d,t,rat,p,ps} = \max (C_1, C_1, \dots, C_{N_{ps}}) \quad (29)$$

由排队系统处理的一件工作被定义为一个IP包。通过利用非抢占优先权，假设每个IP包在当前无线电资源划分发生变化之前就已处理完毕。这是一个有效的假设，因为在很多情况下，中断对一个IP包的处理，则已经为该包消耗的容量就损失掉了。

对于容量为 C 的一个系统，服务类别 n 的平均IP包延迟 D_n ，即平均等待时间与平均服务持续时间之和，由下式给出：

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

该等式是从用于求解一个单个到达M/G/1非抢占优先权队列的平均等待时间的科巴姆公式推导得出的[Cobham, 1954; Irnich and Walke, 2004]。

该表达式被用于确定满足QoS条件 $D_n(C_n) = D_n$ 所需的系统容量 C_n 。然后， C_n 作为下面三次方程的一个解给出：

$$a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n = 0 \quad (31)$$

其中系数 a_n 、 b_n 、 c_n 及 d_n 分别为：

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

就三次方程的解法而言，存在好的符号解法，例如采用卡尔达诺公式。按照数学原理，方程式 (31) 有三个解。要在这三个解中确定正确的解，必须要考虑排队系统的稳定性边界，即：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i s_i < C_n \quad (33)$$

为了以有限的包延迟来传送包，系统容量不能小于集总到达速率。

4.3 确定频谱需求

以下步骤概括了计算频谱需求的程序：

步骤1： 到目前为止容量的计算对上行链路和下行链路是分开的。将上行链路和下行链路的容量需求组合在一起，按分组交换和电路交换分别进行：

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

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

步骤2: 将电路交换和分组交换业务量的容量需求组合在一起, 即:

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

其中 $C_{d,t,rat,p,cs}$ (bit/ (s · 蜂窝小区)) 表示在电信密度 d 、时间间隔 t 、RATG rat 及无线电环境 p 中电路交换业务量的容量需求, 而 $C_{d,t,rat,p,ps}$ (bit/ (s · 蜂窝小区)) 表示相应的分组交换业务量的容量需求。

对于移动组播容量需求的情况, 可类似地计算分组交换与电路交换组播容量需求之和。

步骤3: 在电信密度 d 、时间间隔 t 和无线电环境 p 中RATG rat 的频谱需求是通过应用表11©中的面积频谱效率因子来计算的。频谱需求从下式得出:

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

其中 $\eta_{d,rat,p}$ (bit/ (s · Hz · 蜂窝小区)) 是表11中在电信密度 d 、RATG rat 及无线电环境 p 中的面积频谱效率。

对于移动组播容量需求的情况, 对应的频谱需求 $F_{d,rat,p,mm}$ 是分别计算的, 使用来自表11的适当频谱效率 $\eta_{d,rat,p}$ 值。然后, 这个频谱需求被加到用户各自通信的频谱需求上:

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

5 进行必要的调整

在图1的步骤7中, 在整个无线电环境中对频谱需求进行集总。调整是为了顾及一个网络实施的最小频谱需求, 顾及必要的保护频带, 以及顾及运营商数目的影响。

运用必要调整的程序按以下步骤进行:

步骤1: 假设在一组RATG内的各运营商之间不采用(称为“灵活频谱应用”(FSU)的) 频谱分时, 因为在一组RATG内的各运营商之间预计业务量负载不会变化很大, 除非运营商打算使市场划分明显地差异化。因此, 假设在一组RATG内的各运营商之间频谱的分配是固定的。另外还假设每个运营商可以获得总频谱中的相同的份额。那么, 每个运营商未调整的频谱为:

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

其中 N_o 是表10a和表10b中的运营商数目。

步骤2: 考虑到频率再用的因素, 频谱通常只能以最小带宽MinSpec的颗粒度来使用, 该MinSpec是能够为广域网中的每个蜂窝小区划分单独一个载波所需的。频谱需求则有必要相应地调整:

$$F_{d,t,rat,p} = 0 \quad \text{若 } F_{d,t,rat,p} = 0$$

$$F_{d,t,rat,p} = \text{MinSpec}_{rat,p} \quad \text{若 } 0 < F_{d,t,rat,p} \leq \text{MinSpec}_{rat,p}$$

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

其中 $\lceil \cdot \rceil$ 表示进位到下一个最大的整数，并且 $\text{MinSpec}_{rat,p}$ 和 $\text{GrnSpec}_{rat,p}$ 是从表10a和表10b中获得的。请注意，对未来的RATG，也将有一个最小载波带宽，它是由支持目标峰值用户数据速率的需求所决定的。

注1 – 注意到估算的频谱可能会对某些参数特别敏感，在选择本方法所用的输入参数时应小心谨慎。特别是必须要慎重考虑RATG 2的每个运营商最小频谱实施的影响，因为若选择了较窄的信道带宽，该参数的较大数值可能会引起估算的总频谱需求高于根据市场业务量数值得出的需求。蜂窝小区尺寸的选择也必须与数据速率、信道带宽以及影响链路预算的其他参数相一致。另外，每个运营商的最小频谱实施也有必要与该计算中使用的平均服务比特率相适应。

步骤3: 对RATG1而言，假设微微蜂窝小区及热点小区无线电环境在空间上不是共存的。因此，需要对两种无线电环境都取最大值。假设宏蜂窝小区和微蜂窝小区无线电环境在空间上分别与微微蜂窝小区和热点小区无线电环境共存。因此，对RATG1而言，宏蜂窝小区环境和微蜂窝小区环境的频谱需求就有必要加到微微蜂窝小区和热点小区无线电环境的最大值上：

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

对RATG2而言，异构网络的近期发展趋势为：与之前的预期相比，在相同频谱上可更有效地部署不同的蜂窝小区类型。因此，对RATG2而言，宏蜂窝和微蜂窝环境的频谱需求最大值需与微微蜂窝和热点无线环境的最大值相加：

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

然后，对所有运营商的总频谱需求为：

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

步骤4: 下一步要考虑保护频带。假设频谱效率数字已经考虑了同一运营商的载波之间所需的保护频带。这意味着频谱效率数字还以这样的假设为基础，即相邻载波或者不产生影响，或者其影响已纳入频谱效率数字之中。运营商之间的保护频带引入了额外的频谱需求：

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

其中各运营商 G_{rat} 之间保护频带的数值是由表10a和表10b给出的输入值。

6 计算集总频谱需求

在最后的计算框中，将对各时间间隔和各电信密度的频谱需求进行集总。

步骤1: 考虑频谱需求的时间依赖性。下面两个选项，即a)和b)，是计算不可能采用或有可能采用FSU的频谱需求。任意RATG之间不可能采用FSU的计算a)可得出特定RATG所需的频谱，而有可能采用FSU的计算b)则给出了所有RATG所需的频谱，这些RATG都有能力使用FSU。

- a) 提醒注意，此时频谱需求仍是独立于时间的。不采用FSU，则电信密度 d 中RATG rat 所需的频谱是时间上的最大值：

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

最大的数值是从所有时间间隔 t 中获得的。

- b) 若各RATG之间有可能采用FSU，则支持FSU的那些RATG的集总频谱需求是将每个这样的RAT的频谱需求加在一起算出的，对每个电信密度分别计算。表10a和表10b的FSU不完整性因子也被包括在内，以考虑在FSU机制中会增加频谱需求的任何不完整性：

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

然后，用频谱需求最高的运营商来选择所有时间中最高的频谱需求。有可能采用FSU的RATG的频谱需求为：

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

不可能采用FSU的RAT的频谱需求由下式得出：

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

步骤2： 电信密度环境是空间上不重叠的区域，因此具有最高频谱需求的电信密度环境决定了某一RATG的频谱需求。

- a) 不采用FSU时，RATG rat 的频谱需求为：

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

- b) 有可能采用FSU时，频谱需求为：

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

步骤3： 提醒注意，在频谱划分区域内的计算可能根据不同地理地区内不同的市场研究完成。若一组国家需要一个共同的估算值，则应采用市场研究的各频谱需求中的最大值。

- a) 不采用FSU时，RATG rat 所需频谱是所有不同区域/市场研究中的最大值：

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

- b) 有可能采用FSU时，RATG rat 所需频谱是所有不同区域/市场研究中的最大值：

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

步骤4: 作为非强制性的最后一个步骤, 总频谱需求由图1中的步骤8得出。

a) 不可能采用FSU时, 所有RATG需求被加到一起:

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

b) 有可能采用FSU时, 启用FSU的RATG与未启用FSU的RATG的频谱被加到一起:

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

7 小结

本建议书提出了用于计算IMT系统未来发展频谱需求的方法。本方法适应了市场研究中涉及的各种服务的一种复杂组合, 这些服务具有不同的业务量数值与QoS限制。本方法考虑了业务量随时间变化及随区域变化的特性。本方法采用具有有限的一组无线电参数的RATG方式, 以一种技术中立的方法来处理正在出现的和已有的系统。所考虑的4组RATG涵盖了所有相关的无线电接入技术。本方法采用与技术及市场相关的信息将业务量分配给不同的RATG和无线电环境。对RATG3和RATG4, 未计算频谱需求。对分配给RATG1和RATG2的业务量, 本方法对分组交换和电路交换(基于预留)服务类别采用分别的数学算法, 将来自市场研究的业务量数值转换成容量需求, 并考虑了在具有不同QoS特性的分组复用服务中的增益。本方法采用频谱效率值将容量需求转换成频谱需求。本方法考虑了实际网络实施以调整频谱需求, 并计算了IMT系统未来发展的集总频谱需求。

参考文献

- KLEINROCK, L. [1975] *Queueing Systems. Volume 1: Theory*. John Wiley & Sons, New York, United States of America.
- KAUFMAN, J.S. [October 1981] Blocking in a shared resource environment. *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-29, **10**, p. 1474-1481.
- ROBERTS, J.W. [1981] A service system with heterogeneous user requirements. *Perf. of Data Commun. Sys. and their Applications*, G. Pujolle (Ed.), p. 423-431, North-Holland.
- TAKAGI, H., YOSHINO, H., MATOBA, N. and AZUMA, M. [2005] Methodology for calculation of spectrum requirements for the next generation mobile communication systems. Submitted to the *IEICE Trans.* (in Japanese).
- KLEINROCK, L. [1976] *Queueing Systems. Volume 2: Computer Applications*. John Wiley and Sons, New York, United States of America.
- COBHAM, A. [1954] Priority assignments in waiting line problems. *Operations Research*, Vol. 2, **1** (February) p. 70-76.
- IRNICH, T. and WALKE, B. [5-8 September 2004] *Spectrum estimation methodology for next generation wireless systems*. PIMRC Barcelona, Spain.

附件1的
附录1

缩写及符号清单

缩写	描述
2G	第二代
AoD	语音点播
BER	比特差错率
CS	电路交换
FCFS	先到先服务
FSU	灵活频谱应用
FTTH	光纤到户
IMT-2000	国际移动通信-2000
IP	网际协议
LAN	局域网
M/G/1	泊松输入普通服务单服务器队列
PAN	个人网
PS	分组交换
QoS	服务质量
RAN	无线电接入网络
RAT	无线电接入技术
RATG	无线电接入技术组
RE	无线电环境
SC	服务类别
SE	服务环境
VoD	电视点播
VoIP	IP电话
xDSL	x-数字用户线

符号:	描述:	单位:
a_n	系数	—
$A_{d,p}$	在电信密度 d 中无线电环境 p 的蜂窝小区面积	km^2
b_n	系数	—
B_n	电路交换（基于预留）服务类别 n 的阻塞概率	—
c_n	系数	—
$C_{d,t,rat,p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中的容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,cs}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中的电路交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,cs,DL}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中下行链路方向的电路交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,cs,UL}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中上行链路方向的电路交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,ps}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中的分组交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,ps,DL}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中下行链路方向的分组交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
$C_{d,t,rat,p,ps,UL}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中上行链路方向的分组交换容量需求	bit/s/蜂窝小区
d	电信密度指数	—
d_n	系数	—
D_n	要求的类别 n 的平均延迟	s/包
$F_{d,rat}$	电信密度 d 的RATG rat 的集总频谱需求	Hz
$F_{d,FSU}$	电信密度 d 的采用FSU的RATG rat 的集总频谱需求	Hz
$F_{d,rat,nonFSU}$	电信密度 d 的不采用FSU的RATG rat 的集总频谱需求	Hz
$F_{d,t,FSU}$	在电信密度 d 和时间间隔 t 中采用FSU的RATG rat 的集总频谱需求	Hz
$F_{d,t,rat}$	在电信密度 d 和时间间隔 t 中RATG rat 的集总频谱需求	Hz
$F_{d,t,rat,p}$	在电信密度 d 、时间间隔 t 和无线电环境 p 中RATG rat 的频谱需求	Hz

$F_{d,t,rat,p,mm}$	在电信密度 d 、时间间隔 t 和无线电环境 p 中RATG rat 的移动组播频谱需求	Hz
F	所有RATG的总频谱需求	Hz
F_{FSU}	采用FSU的各RATG的频谱需求	Hz
F_{rat}	采用FSU的RATG rat 的频谱需求	Hz
$F_{rat,nonFSU}$	不采用FSU的RATG rat 的频谱需求	Hz
FSU_{marg}	FSU不完全性余量 (因数)	—
G	计算阻塞概率的中间函数	
G_{rat}	RATG rat 所用的运营商之间的保护频带	Hz
$GrnSpec_{rat,p}$	在无线电环境 p 中RATG rat 的运营商平均粒度	Hz
i_m	在电路交换容量计算中当前所用信道的等级 m 呼叫的数目	—
i	在电路交换容量计算中的系统状态矢量	—
J_m	移动性等级映射参数	—
k	在电路交换容量计算中的信道指数	—
m	服务环境指数	—
$MR_{sm_{m,t,n}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的本方法静止/步行移动性比率	%
$MR_{lm_{m,t,n}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的本方法低速移动性比率	%
$MR_{hm_{m,t,n}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的本方法高速移动性比率	%
$MR_{market_{m,s}}$	在服务环境 m 中服务 s 的市场研究移动性比率	%
$MR_{market_{m,t,n}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的市场研究移动性比率	%
$MR_{market_{sm_{m,t,n}}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的市场研究静止移动性比率	%
$MR_{market_{lm_{m,t,n}}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的市场研究低速移动性比率	%
$MR_{market_{hm_{m,t,n}}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的市场研究高速移动性比率	%
$MR_{market_{shm_{m,t,n}}}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的市场研究超高速移动性比率	%
$MinSpec_{rat,p}$	无线电环境 p 的RATG rat 的每个运营商最小频谱	Hz
n	服务类别指数	—

N	服务类别总数	—
N_{cs}	电路交换（基于预留）服务类别的数目	—
N_o	运营商数目	—
$N_{ps'}$	分组交换服务类别的数目	—
p	无线电环境指数	—
P	计算阻塞概率的中间函数	—
$P_{m,t,n, rat,p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的每区域进程到达速率	进程到达/s/km ²
$P'_{m,t,n, rat,p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的每蜂窝小区进程到达速率	进程到达/s/ 蜂窝小区
$Q_{m,t,s}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务 s 的每用户进程到达速率	进程到达/s/ 用户
$Q_{m,t,n}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的每用户进程到达速率	进程到达/s/ 用户
r	电路交换业务量计算中的单位数据速率	bit/s
$r_{d,t,n, rat,p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中服务类别 n 的平均服务比特率	bit/s
$r_{m,t,n}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的平均服务比特率	bit/s
$r_{m,t,s}$	在服务环境 m 中服务 n 的平均服务比特率	bit/s
rat	无线电接入技术组指数	—
s	服务指数	—
s_n	服务类别 n 的平均包长度分布	bit/包
$s_n^{(2)}$	服务类别 n 的平均包长度分布的二阶矩	(bit/包) ²
t	时间间隔指数	—
$T_{d,t,n, rat,p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中服务类别 n 的集总业务量数值	bit/s/蜂窝小区
$U_{m,t,s}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务 s 的用户密度	用户/km ²
$U_{m,t,n}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的用户密度	用户/km ²
$w_{m,t,s}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务 s 的平均进程持续时间的权重	—

$\bar{w}_{m,t,s}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务 s 的平均服务比特率或移动性比率的权重	—
X_{hs}	热点蜂窝小区的覆盖百分比	%
X_{macro}	宏蜂窝小区的覆盖百分比	%
X_{micro}	微蜂窝小区的覆盖百分比	%
X_{pico}	微微蜂窝小区的覆盖百分比	%
$\eta_{d, rat, p}$	在电信密度 d 和无线电环境 p 中RATG rat 的频谱效率	bit/s/Hz/蜂窝小区
k	每蜂窝小区所需信道数目	
$\lambda_{d,t,n, rat, p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中服务类别 n 的包到达速率	包/s
λ_n	服务类别 n 的包到达速率	包/s
$\lambda_{\leq N_{ps}}$	所有服务类别的集总包到达速率	包/s
$\mu_{m,t,s}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务 s 的平均进程持续时间	s/进程
$\mu_{m,t,n}$	在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的平均进程持续时间	s/进程
v_n	电路交换（基于预留）服务类别 n 所需的信道数目	—
v	具有电路交换（基于预留）服务类别所需信道数目的矢量	—
ξ_{hs}	热点蜂窝小区的中间分布比率	—
ξ_{macro}	宏蜂窝小区的中间分布比率	—
ξ_{micro}	微蜂窝小区的中间分布比率	—
ξ_{pico}	微微蜂窝小区的中间分布比率	—
$\xi_{pico\&hs}$	微微蜂窝小区和热点蜂窝小区的中间分布比率	—
$\xi_{m,t,n, rat, p}$	对于无线电环境 p 的RATG rat ，在服务环境 m 和时间间隔 t 中服务类别 n 的分配比率	—
π_n	电路交换（基于预留）服务类别 n 的最大允许阻塞概率	—
$\rho_{d,t,n, rat, p}$	对于无线电环境 p 和RATG rat ，在电信密度 d 和时间间隔 t 中服务类别 n 的每蜂窝小区的提供业务量	爱尔兰/蜂窝小区