**工业互联网产业联盟第十四次全会**

**会议名称：频率工作组**

**会议地点：**

**会议时间：2020年9月28日**

**题目：工业互联网频谱需求研究白皮书**

**来源：**

**目的：讨论并采纳到相关研究报告中**

联系人：

邮箱：

典型行业下的工业互联网频谱需求研究白皮书2020

（汽车、电子信息制造行业）

# 引言（高通）

本白皮书主要研究典型行业下工业互联网频谱需求的研究方法，包括频率需求预测方法和频率需求预测参数，并分别给出汽车行业和电子信息制造行业中三种工厂场景的频率需求预测结果，不同行业不同工厂的无线业务量应该根据车间拓扑结果、自动化设备情况，生产情况等确定，频率需求也与工厂中具体5G部署规划有密切关系。本文主要给出一种频率需求预测的方法和参数集合，具体分析应根据具体工厂需求和网络部署规划开展，本文给出的预测分析结果谨作为示例参考。本白皮书可供无线电管理机构、垂直行业、运营商、设备商等作频率规划、频率预测、频率申请、频率使用率审核等参考。

# 概述工业互联网无线技术应用的典型场景（简单介绍几类应用，避免和需求工作组的内容重复）

在2019年“绽放杯”工业案例中[11]，从工业应用角度统计分析，前十大应用主要包括AR/VR应用占比14%，工业视觉类应用占比14%，无人巡检类应用占比11%，工业数据采集类占比10%，工业AGV应用占比9%，环境监控类应用占比6%，高清视频监控类应用占比6%，远程监控运维管理类应用占比6%，远程控制类应用占比5%，移动办公类应用占比4%。前十大应用占比总计85%，其他如物联网类应用、无人驾驶类应用、工业控制类应用、位置定位类应用、数字孪生等占比总计15%。



## 移动机器人（AGV）（高通）

AGV (自动导航车辆Automatic Guided Vehicle) 需要与控制系统、其它AGV以及周边设备保持安全可靠的无线通信，对通信时延、可靠性、确定性和时钟同步提出严格要求。同时AGV的移动性，要求无线网络在室内外具备连续覆盖，并支持无缝切换。一种迅速崛起的导航方式是基于视觉实现AGV导航，视觉导航对无线通讯要求高，如果采用4K或8K摄像头，且视频上传边缘节点做实时分析，那么无线网络需要支持几十甚至上百Mbps的吞吐量。

## 运动控制（NSB）

## 大规模连接（ZTE）

5G的mMTC场景可以支持平方千米内拥有百万用户。现代化工厂依赖传感器接入技术，将设备、环境和流程集成在一起，实现工业生产的智能化监控。海量传感器接入技术为老旧设备和车间环境升级到工业4.0提供了解决方案。大量传感器被部署到生产环境和生产设备中，推动制造领域向自动化、智能化方向发展。分辨率高达8K的工业摄像机、声音检测传感器和温度传感器被安装在生产线上，以监控生产线生产情况，执行生产质量检查。传感器还安装在关键位置，用于预防意外事故（如：火灾），或者安装在相关工具上，如：灭火器，以确保其工作状态正常。5G海量接入和低功耗终端的特性，促进长周期、小数据包的传感器更容易部署在电池更换周期长的生产环境中，满足信息制造场景的需求。

## 工业VR/AR【参数做为附录】

机器视觉（质检）

虚拟现实VR（Virtual Reality），则通过计算机仿真技术生成虚拟的全沉浸式、可交互的三维场景，使用户与现实世界隔离。而增强现实AR（Augmented Reality），通过在现实世界环境和物体中，叠加虚拟信息，实现对现实世界信息的增强，使用户获得超感知体验。AR作为智能制造核心的关键技术，被广泛应用于智能制造，已被列入《中国制造2025》重点领域技术路线图中。

在未来工厂，尽管大量机器代替了人类工作，但人依然占据非常重要的角色。利用VR/AR技术提高工作效率将是智能制造的一大趋势。1990年，波音工人首次佩戴AR眼镜，根据计算机的安装指导图像叠加至真实图像中，解决复杂的航空线束装配问题。未来基于AR的智能巡检以及远程专家系统将迎来广泛的应用前景。在车间，检修人员佩戴AR眼镜上传设备数据，本地或云端将当前数据与云端数据进行比对，分析设备的工作状态，并在画面中标注故障点，辅助设备检测，同时获取故障维修指南。当遇到疑难故障时，通过AR眼镜以第一视角将现场数据，发送给远程专家，专家通过语音或实时标注画面等方式，将信息叠加在检修人员屏幕的操作对象上，从而极大地提高检修效率。

在工业制造中，VR适用于3D产品设计、员工培训等场景。采用VR技术，基于3D仿真进行产品设计和交互，提供设计产品的测试能力，既降低了验证成本，同时提高了设计效率。VR技术还用于员工培训，特别是工艺复杂、操作性强的制造领域，通过模拟真实工作场景，解决传统培训操作性不足的缺陷。

VR/AR技术存在两大技术难点，一是计算量巨大，导致VR/AR眼镜硬件成本过高，需要将大量计算迁移到边缘侧或者云端，即：云化VR/AR。二是VR/AR的云化依赖大量数据和计算的迁移，导致传输数据量增大、网络时延加大，从而引发用户的晕眩感。FOV注视点渲染技术可降低云化VR/AR迁移的数据量，而ATW异步时间扭曲技术可以一定程度降低云化VR/AR对端到端时延的需求。如果基于5G网络实现云化VR/AR，挑战依然很大，其基本要求如下。

表 工业AR/VR场景中的通信需求表（待讨论）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 技术要求 | 技术指标 | 说明 |
| 接入终端数 | 3 / 基站 |  |
| 端到端时延 | <= 10ms |  |
| 传输带宽 | 帧率：>= 60fps  分辨率：4K（3960\*2160p）  传输方向：  VR:单向  AR:双向  带宽：> 125Mbps | H264压缩算法（压缩率约100：1）：  4K视频带宽  = 123.18Mbps  H265压缩算法（压缩率约200：1）：  4K视频带宽  = 61.59Mbps |
| 可靠性 | > 99.9% |  |
| 时钟同步 | < 1us |  |
| 无缝切换 | 支持 |  |
| 室内定位 | < 1m |  |
| 定位延时 | < 15 ms |  |
| 移动速率 | < 10 km/h |  |
| 安全性 | SIL-3 |  |

……

# 工业互联网频率需求预测方法

## ITU-R建议书的IMT频率需求预测方法

ITU-R WP5D从IMT2000一直到IMT2020系统，结合无线系统技术演进和不断增强增加的场景，持续针对系统频率需求进行预测评估。

ITU-R M.1768[1]针对IMT系统提出了一种基于排队论理论的预测计算方法，在2006年ITU-R M.2078[3]采用M.1768的方法针对IMT2000系统以及IMT-advanced系统进行了频率需求的评估，在2013年针对WRC15 提议1.1， ITU-R M.2290[4]报告采用M.1768的方法根据当时IMT技术发展、全球移动市场的业务增长和部署情况，对IMT2000以及IMT-advanced频率需求相关参数[5]和结果预测进行了更新。

针对WRC19 AI1.13议题，WP5D针对毫米波频段IMT2020系统的频率需求进行预测和计算[6]，主要采用两种方法：其中一种方法采用ITU-R M.1651建议书[2]的方法，M.1651是在WRC-03研究周期中制定和使用的，也曾在WRC-15议题1.1下用于计算RLAN频率需求；另外一种方法基于系统性能关键指标（比如峰值速率，用户体验速率，小区边缘数据速率要求，频谱效率等），进行频率需求分析。

本章针对M.1768和 WP5D IMT2020的频率需求方法以及所需要的参数集进行介绍，并进行对比分析。

### ITU-R M.1768频率需求预测方法和参数集

M.1768针对分组业务和电路域业务的频率需求分别进行预测并叠加[1]。这里主要考虑M.1768中针对分组业务的频率需求预测方法，采用排队论理论针对分组业务的容量和频率需求进行预测，综合考虑业务平均吞吐量、速率、业务到达率、包长、时延要求等业务特性，对于系统容量进行分析，并导出系统所需要的频率需求。排队论模型采用M/G/1先进先出排队系统，既假设系统中只有一个服务窗，顾客到达系统的时间间隔服从参数为的泊松分布，而服务窗的服务时间是一般分布G。排队系统中，当系统为一个顾客服务时，当前服务不能被终端，新来的客户只能进入队列排队等待。对于每个分组业务都可以设定优先级，不同分组业务也可以具有相同优先级。服务时间由分组包长和无线接入技术调制编码速率决定。

确定分组业务所需要的系统容量，需要先确定以下参数：

– 对于每个数据分组，需要确定其每个业务在有效范围内的业务量*Tn* (bit/(s ⋅ range))

– 每个服务类别的IP包的平均包长Mean *sn* (bits/packet) 以及包长的二阶矩 second moment *sn*(2) (bits2/packet)

– 每个业务类别的平均延时*Dn*

– 对于所有服务类别的优先级排序， *n* = 1, 2,..., *Nps*. 假定 *n* = 1具有最高优先级，既服务类别1的IP 包最先被服务. 服务类别 *n* = *Nps* h具有最低优先级.

有效通信范围内服务类别n的IP 包到达率 λ*n* (packets/(s ⋅ range)) *n* 可以由业务量和平均包长推出，如下:

 (1)

每个业务类别的集总到达率如下：

 (2)

系统容量 Cn 可以根据满足不同服务类别n的平均时延的需求公式推导得出。且由需要最大系统容量的优先级类别来决定总系统容量，因此总系统容量公式如下:

max (*C*1, *C*1,...,) (3)

由排队系统服务的一个工作定义为一个IP包，只有当前IP包传送完毕，当前无线资源分配才能改变。

平均IP包时延 Dn ， 在给定总平均等待时间和总平均业务时延的条件下，对于业务类别n 的系统容量可以由以下公式给出：

 (4)

该公式由M/G/1 模型中Cobham’s公式导出[Cobham, 1954; Irnich and Walke, 2004] 。

该公式据顶了满足QoS时延*Dn*(*Cn*) = *Dn*的系统容量*Cn*。所以， *Cn* 可以由以下方程式解出：

*an x*3+ *bn x*2 + *cn x* + *dn*= 0 (5)

系数 *an*, *bn*, *cn* 和 *dn* 如下:

 (6)

 (7)

物理意义是为了在有限包时延之内传递数据包，数据容量不能比集总到达率低。

排队论计算模型中所需要的参数如表 2所示

表 2：M.1768排队论模型的参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 业务类别1 | … | 业务类别n |
| 平均IP包长度 (byte) |  |  |  |
| IP包长度的二阶矩 (byte2/packet2) |  |  |  |
| 平均延时要求 (ms) |  |  |  |
| 平均数据速率 (kbp/s) |  |  |  |
| 用户数 (用户密度\*小区面积) |  |  |  |
| 每用户会话到达速率  (sessions/h/users) |  |  |  |
| 平均会话时长 (s) |  |  |  |
| 频谱效率 (b/p/s/Hz) |  |  |  |

### ITU-R WP5D IMT2020毫米波频率需求预测方法和参数集

IMT2020毫米波频率需求预测中采用的计算方法，主要有两种类型：基于应用的方法和基于性能的方法[6]。

#### 基于应用的方法和参数集

##### 方法

该方法采用ITU-R M.1651建议书[2]的方法，M.1651是在WRC-03研究周期中制定和使用的，也曾在WRC-15议题1.1下用于计算5GHz 频段RLAN频率需求。

关于应用的输入参数可以反映各个国家的不同情况，其复杂性低于M.1768中的方法。这种方法可以与其他方法的信息一起考虑。

为了在该方法中计算频率总需求量R（Hz），使用以下等式：

**Rts** = (C × A × U) / I / S （8）

Rt = ∑ Rts （9）

**R** = max(**Rt**) （10）

其中:

C = 连接密度(用户数/km2)

A = 应用数据速率 (bits/s)

U = 使用模式 (%)

I = 基于站间距，每平方公里的小区个数

S = 小区平均频谱效率 (bits/s/Hz/cell)

**Rts** = 给定电信密度和业务类型的一组频率需求 (Hz)

**Rt** = 给定电信密度的一组频率需求 (Hz)

在上面的等式中，Rts表示给定的电信密度和服务类型中的一组频率需求，可以由连接密度、应用数据速率、使用模式、以及无线技术相关的参数（小区面积和小区平均频谱效率）计算而得到。频率需求应该取不同电信密度条件下最大的频率需求值。

其中，用户密度C的定义在ITU-R建议书M.2083[7]中给出，可以由以下公式计算得到。

连接密度C= (给定区域内的用户数) × (激活因子) （11）

用户模式U定义了给定电信密度下使用一定类型的业务的用户比例，该参数值可能因区域或者国家的不同而有所区别，单位为%。

激活因子和用户模式可能被不同频率影响，以反应不同的运营环境。

当用于工业互联网工厂内网络频率分析时，可以按照不同工厂内的场景中各种应用的连接密度、使用模式、应用业务速率、工厂面积内部署的总小区数量、以及使用无线技术的小区频谱效率参数等，对不同场景下的工厂内网络频率需求进行分别评估，总的频率需求应该在各种不同场景中取其中的最大值。工厂中的无线电传播环境可能与5G系统的其他应用领域的情况有很大区别[10]。 它的典型特征是非常丰富的多径，由发射机和接收机周围的大量常见金属物体引起，以及由电机，电弧焊等引起的潜在高干扰。应评估工厂无线传播环境下无线技术的小区覆盖范围和小区频谱效率。

##### 基于应用的工厂内网络频率需求分析参数

针对工厂内网络不同部署场景下，可能具有不同的应用以及部署情况。应尽量针对不同部署场景和业务收集相关参数，如下为某一个场景的参数集，如表 3所示。

表 3：基于应用的工厂内网络频率需求分析的基本应用参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 说明 |
| 工厂面积FactoryArea（平方米） |  |
| 用户总数 N |  |
| 业务1激活因子  （%） | 业务1用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务使用模式  （%） | 业务1的用户数占总用户数的比例 |
| 业务1平均数据速率  （kbps） |  |
| 业务2激活因子  （%） | 业务2用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务2使用模式  （%） | 使用业务2的用户占全部用户总数的比例 |
| 业务2平均数据速率  （kbps） |  |
| … |  |
| 业务n激活因子  （%） | 业务n用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务n使用模式  （%） | 使用业务n的用户占全部用户总数的比例 |
| 业务n平均数据速率  （kbps） |  |

针对应用的无线技术，应通过链路预算或者系统级仿真结合候选频率范围研究以下参数和假设，如表 4所示。

表 4：基于应用的工厂内网络频率需求分析的基本无线参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 说明 |
| （米） | 根据链路预算或者系统级仿真估计站间距 |
| 每个站址的小区数量 | 如果采用更好方向性的天线、毫米波段频率达到高效的空分复用，采用更高效的小区分裂技术，可以使得每个站址支持更多小区数量。 |
| 频率效率  S（b/s/Hz/cell） | 根据无线技术规范和系统级仿真等，确定每小区平均频谱效率 |
| 负载因子  () % | 负载因子应反映不同可靠性要求的应用对网络负载的要求，可靠性要求越高网络负载因子越低。 |

总的频率需求可以用如下公式计算得到：

（13）

##### 频率需求计算示例

本节给出一个工业互联网工厂内针对某应用的网络频率需求计算的示例，所有的假设和参数仅为示例意义。比如，某工厂大规模采用AR眼镜应用，在8000平方米范围内，总共有55个工人和14个工程师在佩戴AR眼镜作业。AR眼镜需要把实时采集的图像上传，如果考虑4K视频分辨率，每个AR眼镜上行速率约为25Mbps，如果考虑8K分辨率，则每个AR眼镜的上行速率为100Mbps，端到端平均时延为10ms，可靠率要求为99.9%。AR眼镜需要在真实物理图像上作投射信息的实时渲染处理，因此下行也可能有比较高的数据速率，假定AR眼镜的下行数据速率和上行数据速率类似。假定工厂高峰作业时间，同一时刻，每个AR眼镜大约100%时间为激活工作时间。

假定工厂内网络的无线技术基于5G NR设计，暂时参考WP5D IMT2020频率需求计算[6]中，估计平均小区频谱效率为 [7.8 bps/Hz]，若按站间距[50米]以及每个站址三小区计算，8000平方米面积大约需要4个站址12个小区覆盖。AR眼镜是高可靠性要求高速率应用，网络负载因子可能比较低，以保证时延和抖动性能，假设该应用需要[50%]的负载因子。注意：这些无线技术相关的参数和假设对于最终结果影响比较大，后续应针对结合无线技术、候选频率和工厂环境进行详细评估。

工厂内AR眼镜的频率需求可粗略计算如下：

对于 4K分辨率：

=73.8 MHz

对于8K分辨率

=294.8 MHz

对于该工厂内其他的无线应用，取得相应业务参数后，逐一计算频率需求，最后叠加之后，即为总频率需求。

如果可以进一步获得AR眼镜的更多业务建模信息，比如IP包的一阶矩和二阶矩统计特性、会话到达率以及会话平均时长等，以及无线链路的频谱效率，可以采用M.1768的排队论方法进行更精确计算分析频率需求。

#### 基于性能的方法

基于性能的方法的概念如下：诸如无线系统的关键性能参数，比如支持的峰值数据速率、频谱效率、用户体验的数据速率、预期的设备密度等因素，都会影响频率需求。此外，使用场景，包括其相关的预期覆盖区域、部署环境和目标应用，都对于无线系统引入了直接或间接影响频率需求的技术要求和条件。例如，所有其他方面保持不变，针对需要100Mbits / s用户速率的应用的系统将需要比针对仅需要10Mbits / s用户速率的另一应用的系统，则需要十倍的频率资源。

可以根据关键技术性能要求（TPR）（例如，峰值数据速率、用户体验数据速率和区域流量容量）对频率需求进行简单粗略的估计，或者可以在链路预算和系统级仿真的基础上取得关键参数，进行详细计算。无论哪种方式，无线系统应具备空口能力来支持这些技术性能要求，无论地理位置或用户需求/设备的投射。

这种方法可以与其他方法的信息一起考虑。WP5D针对基于性能的方法中，又分成两种类型。

##### 类型1

在类型1的方法中，使用非常简单的公式来估计系统频率需求，如下：

B = (D × N) / S （12）

其中，

B：频率需求，单位是Hz

D：平均用户数据速率，单位是b/s

N: 同时服务的用户数

S：频谱效率，单位是b/s/Hz

表 5是WP5D给出的基于类型1方法计算的频率需求示例。

表 5： WP5D联络函中基于性能方法中类型1方法的频率需求示例

|  |  |
| --- | --- |
| 示例 | 频率需求 |
| ＃1 - 基于ITU-R M.2083建议书[7]中的小区边缘用户吞吐量和频谱效率目标，N个用户/设备同时服务于小区边缘。 | 用户体验数据速率1 Gbit/s:  3.33 GHz (N=1), 6.67 GHz (N=2), 13.33 GHz (N=4), 例如室内  用户体验数据速率100 Mbits/s:  0.67 GHz (N=1), 1.32 GHz (N=2), 2.64 GHz (N=4), 广域覆盖 |
| ＃2 - 基于两个给定测试环境中的小区边缘用户频谱效率（从3GPP技术规范获得）和数据速率目标（来自ITU-R M.2083建议书） | 0.83-4.17 GHz (对于eMBB 密集城区)  3-15 GHz (对于 eMBB 室内热点) |
| ＃3 - 时延和频谱效率目标的影响以及典型的用户吞吐量值对频率需求的影响 | 在小区边缘单一用户1毫秒里传输一个10 Mb的文件：33.33 GHz (单向)  在小区边缘单一用户1毫秒里传输一个1 Mb的文件：3.33 GHz (单向)  在小区边缘单一用户1毫秒里传输一个0.1 Mb的文件：333 MHz (单向) |

##### 类型2

根据IMT-2020的不同技术性能要求估算频率需求，包括用户体验数据速率，峰值数据速率和区域业务容量。频率需求应基于每个技术性能要求遍历进行估算，并结合所有IMT-2020部署方案。这些情景可分为室内热点、密集城区的微小区和宏小区、以及城市的宏小区层。考虑到频率需求应满足网络的所有关键能力，从不同技术性能要求获得的最大频率需求结果被视为IMT-2020的最终频率需求。

在ITU-R WP5D的基于性能方法的类型2分析中，进行了以下假设：

- 用于无缝广域覆盖的密集城区和城区场景中的宏小区由6 GHz以下的频率范围提供。

- 24.25-86 GHz之间的频率范围提供满足极高传输速率要求的密集城区和室内热点场景。在24.25-86 GHz的频率中，由于更好的传播特性，24.25- 43.5 GHz的频率适合于微小区场景。

基于以上所述，表 6提供了在类型2分析中假设的IMT-2020的部署方案和频率范围之间的关系。

表 6：IMT2020在类型2中假设的部署场景和频率范围

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 部署场景 | 室内热点 | 密集城区 | | 城区marco |
| Micro | Macro |
| 频率范围 | 24.25-86 GHz | 24.25-43.5 GHz | <6 GHz | <6 GHz |

WP5D向TG5/1发送的联络函[6]的附件A中的A.2.2节提供了类型2的一个示例的细节，基于关键能力、部署方案以及部署方案和建议频率范围，如上所述。 估计的频率需求总结在表 7中。

表 7：24.25-86 GHz范围内IMT2020在不同频率范围里的频率需求估计

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 部署场景 | 微小区 | 室内热点 |
| 24.25-86 GHz总频率需求 | 14.8-19.7 GHz\* | |
| 24.25-43.5 GHz频率需求 | 5.8-7.7 GHz | 9-12 GHz |
| 45.5-86 GHz频率需求 | –\*\* |

\*考虑到多个网络运营商之间的共存（例如，在多个网络运营商场景的情况下可能需要保护频带），预期总频率需求将增加。

\*\*表 7中有关频率范围和部署方案的划分仅仅是关于如何在24.25-86 GHz和不同部署方案内针对不同频谱子范围分配频率需求的指示性示例。 不应理解或使用该表来排除45.5-86 GHz范围内任何可能的IMT-2020部署选项。

### 对比和分析

M.1768中的方法可以结合QoS要求比如业务优先级和时延等，基于排队论理论，在考虑理想调度的前提下，对于频率需求进行较为精细的预测，但是M.1768也需要比较多的业务模型相关的参数，比如分组数据包大小的平均值和二阶矩、会话到达率和会话平均时长等，需要提前针对不同业务场景的具体业务流量建模深入研究，才能达到比较好的预测效果。此方法在5G毫米波频率需求预测过程中，已经没有被采用了。

IMT2020毫米波频率需求预测采用的两种预测方法（基于应用的方法和基于性能的方法），参数复杂度要求相比M.1768较低，在场景和业务难以准确预测时，该方法可以根据较为概括的技术和业务参数集提供频率需求估计。其中基于应用的方法在各种分组系统的容量估计和频率需求估计中应用更为广泛，比如曾用在5GHz RLAN网络频率需求预测以及5.9GHz C-V2X频率需求研究[8][9]，需要的参数、假设和应用场景以及无线技术（及其候选频率范围）都紧密相关。基于性能的方法，对于无线系统更为依赖，是在各种场景应用的业务模型进行高度总结和抽象的基础上进行，与基于应用的方法并不矛盾，只是更侧重于无线系统性能参数。

在难以取得工厂内网络的精细业务建模时，可以采用基于应用的方法对频率需求进行初步分析，各个场景下的应用分析、部署密度和业务量分析等成为频率需求分析的关键参数。此外，需要结合工厂内网络采用的空口无线技术和候选频率范围，比如采用基于5G的技术，则应采取5G空口设计在工厂内网络环境下，结合候选频率范围、对应的小区覆盖和频谱效率，最终得到不同场景下的频率需求。

如果可以进一步对各个应用提出精细的QoS要求和较为精确的业务流量建模，则可以考虑采用M.1768中基于排队论理论的频率需求预测方法，以得到更精确的频率需求预测。

此外，在工业互联网频谱需求研究中，还需要考虑到高速率高可靠性业务对网络负载的要求，为了保证一定的时延和抖动性能，这些应用不能在满负荷的网络中工作，需要考虑一定空中接口的负载冗余以满足高可靠性业务的要求。因此，建议针对工业互联网频谱需求研究，进一步在无线参数中针对不同应用考虑不同的负载因子。

## 工业互联网频谱预测方法（ZTE）

在移动通信的频谱需求测算中，业务量模型的设计非常重要，决定了测算结果的准确性。在以人做为使用者的场景中，在统计上大概呈现泊松分布，然而本质上业务的发生还是比较随机，因此业务量模型的建立，通常比较复杂，因此在ITU-R M.1768的基于业务模型的计算方法之外，又设计了基于性能的方法。然而这种方法的缺点是和实际业务不是非常匹配。

工业互联网的业务场景，最大的特征是业务都是事先精准编排的，也就是说其业务量模型是比较确定的。因此，在工业互联网频谱需求预测的研究中，我们建议使用基于业务量模型的预测方法。

在工业互联网的场景中，通常既有上行业务又有下行业务，频谱的测算也需要考虑两者之和，即：



公式中上下行分别进行频谱预测，计算方法参考公式（13）：



其中：

：表示用户总数

（%）：表示使用业务n的用户占全部用户总数的比例

（%）：表示业务n激活因子

（kbps）：表示业务n平均数据速率

：负载因子，应反映不同可靠性要求的应用对网络负载的要求，可靠性要求越高网络负载因子越低。

：小区总数

：小区平均频谱效率，原则上可以根据无线技术规范和系统级仿真等，确定每小区平均频谱效率，但谱效与小区无线参数配置强相关，故在此我们采用ITU-R M.2410中对室内热点场景的平均频谱效率的最小要求值作为频谱预测的平均谱效。ITU-R M.2410对IMT2020技术的需求中，不同场景的上下行平均频谱效率最小需求如下：

表6-4平均频谱效率最小需求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Test environment | Downlink (bit/s/Hz/TRxP) | Uplink (bit/s/Hz/TRxP) |
| Indoor Hotspot – eMBB | 9 | 6.75 |
| Dense Urban – eMBB | 7.8 | 5.4 |
| Rural – eMBB | 3.3 | 1.6 |

## 结论和建议

# 工业互联网频率需求预测参数（高通）

【频谱效率采用ZTE输入； 室内站不需要分扇区】【参数做为附录】【loading factor：0.5~0.7】

针对工厂内网络不同部署场景下，可能具有不同的应用以及部署情况。应尽量针对不同部署场景和业务收集相关参数，如下为某一个场景的参数集，如表 5所示。

**表 5：基于应用的工厂内网络频率需求分析的基本应用参数**

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 说明 |
| 工厂面积FactoryArea（平方米） |  |
| 用户总数 N |  |
| 业务1激活因子  （%） | 业务1用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务使用模式  （%） | 业务1的用户数占总用户数的比例 |
| 业务1平均数据速率  （kbps） |  |
| 业务2激活因子  （%） | 业务2用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务2使用模式  （%） | 使用业务2的用户占全部用户总数的比例 |
| 业务2平均数据速率  （kbps） |  |
| … |  |
| 业务n激活因子  （%） | 业务n用户有空口业务发送的激活时间比例 |
| 业务n使用模式  （%） | 使用业务n的用户占全部用户总数的比例 |
| 业务n平均数据速率  （kbps） |  |

针对应用的无线技术，应通过链路预算或者系统级仿真结合候选频率范围研究以下参数和假设，如表 6所示。

**表 6：基于应用的工厂内网络频率需求分析的基本无线参数**

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 说明 |
| （米） | 根据链路预算或者系统级仿真估计站间距 |
| 每个站址的小区数量 | 如果采用更好方向性的天线、毫米波段频率达到高效的空分复用，采用更高效的小区分裂技术，可以使得每个站址支持更多小区数量。 |
| 频率效率  S（b/s/Hz/cell） | 建议参考ITU-R M.2410对IMT2020技术的需求室内热点场景的要求 |
| 负载因子  () % | 负载因子应反映不同可靠性要求的应用对网络负载的要求，可靠性要求越高网络负载因子越低。 |

根据3GPP TR 38.824 V0.0.3对于工厂自动化等高可靠、低时延业务进行的性能评估所提出的相关参数和假设，给出频谱需求研究所需的技术参数的参考。

表 8 System-level simulation assumptions at 4 GHz for factory automation

|  |  |
| --- | --- |
| Parameters | Value |
| Inter-BS distance | 20m |
| Carrier frequency | 4 GHz |
| UE Tx power | 23dBm |
| BS antenna element gain + connector loss | 5 dBi |
| BS receiver noise figure | 5dB |
| BS antenna configurations | 4 Tx/4 Rx antenna ports and 8 Tx/8 Rx antenna ports  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (1, 2, 2, 1, 1; 1, 2) for 4 Tx/4 Rx antenna ports;  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (2, 2, 2, 1, 1; 2, 2) for 8 Tx/8 Rx antenna ports;    dH = dV = 0.5 λ  Note: Other values are not precluded for evaluation |
| BS antenna height | 10 m  Note: Other value (e.g. 3 m) is not precluded for evaluation |
| UE antenna configuration | 2 Tx/4 Rx antenna ports  Panel model 1: Mg = 1, Ng = 1, P = 2, dH = 0.5  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (1, 2, 2, 1, 1; 1, 2) for 4 Rx;  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (1, 1, 2, 1, 1; 1, 1) for 2 Tx;  Note: Other UE antenna configurations for evaluation are not precluded |
| UE antenna height | Follow the modelling of TR 38.901 (e.g. 1.5m)  Note: Companies report the modification of the layout |
| UE antenna gain | 0dBi as starting point |
| BS Tx power | 24 dBm per 20 MHz |
| BS receiver | MMSE-IRC as the baseline receiver Note: Advanced receiver is not precluded. |
| UE receiver noise figure | 9 dB |
| SCS | 30 kHz  Note: Other values for evaluation are not precluded. |
| Simulation bandwidth | 40 MHz |
| Layout | Single layer as defined in 38.802  Indoor floor:12 BSs per 120 m x 50 m  cid:image001.jpg@01D460C3.1788FD90 |
| Channel model | ITU InH for 4 GHz  Companies report the modification of the channel model |
| Number of UEs per cell | Up to 40  Note: Example of the number of users for evaluation can be 5, 10, 20, 30 and 40. The number of users per cell in this table is the number of pure URLLC UEs. |
| UE distribution | 100% of users are indoor: 3 km/h and/or 30 km/h UE-speed  Note: which one to use is up to companies and other value(s) are not precluded |
| UE power control | Companies report the PC mechanisms used for URLLC. |
| HARQ/repetition | Companies report (including HARQ mechanisms). |
| Channel estimation | Realistic |

表 9 System-level simulation assumptions at 30 GHz for factory automation

|  |  |
| --- | --- |
| Parameters | Value |
| Carrier frequency | 30 GHz |
| BS receiver noise figure | 7dB as defined in TR 38.802 |
| BS antenna configurations | 2 Tx/Rx antenna ports  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (4, 4, 2, 1, 1; 1, 1)  dH = dV = 0.5 λ  Note: Other antenna configurations are not precluded |
| UE antenna configuration | 2 Tx/Rx antenna ports  (M, N, P, Mg, Ng; Mp, Np) = (2, 4, 2, 1, 2; 1, 1)  (dH, dV) = (0.5, 0.5) λ  Static panel selection  Note: Other antenna configurations are not precluded |
| UE antenna gain | 5dBi |
| BS Tx power | 23 dBm for 80 MHz bandwidth |
| UE receiver noise figure | 10 dB |
| SCS | 120 kHz  Note: Other values for evaluation are not precluded. |
| Simulation bandwidth | 160 MHz |
| Channel model | 5GCM office for 30 GHz  Companies report the modification of the channel model |

假设1 ms 空口时延、1 ms CN时延，2ms 的端到端时延。

表 10 Link-level simulation assumptions at 4 GHz for factory automation

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Value |
| Carrier frequency for evaluation | 4 GHz |
| Channel model | TDL-D (delay spread: 30ns) as in 38.901  TDL-C (delay spread: 100ns) as in 38.901  Note: Companies report the modification of the channel model if any |
| UE speed | 3 km/h, 30 km/h |
| BS antenna configuration | 4 Tx/4 Rx antenna ports and 8 Tx/8 Rx antenna ports  Higher BS antenna configurations for evaluation are not precluded |
| UE antenna configuration | 2 Tx/4 Rx antenna ports  Higher UE antenna configurations for evaluation are not precluded |
| System bandwidth | 40 MHz |
| Sub-carrier spacing | 30 kHz  Note: Other values for evaluation are not precluded. |
| Channel estimation | Practical |
| Receiver type | MMSE |
| Q value (i.e. SINR range) | Companies report the 5% Q value |

表 11 Link-level simulation assumptions at 30 GHz for factory automation

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Value |
| Carrier frequency for evaluation | 30 GHz |
| Channel model | CDL-A (delay spread: 20 ns) as in 38.901 |
| UE speed | 3 km/h, 30 km/h |
| BS antenna configuration | 2 Tx/2 Rx antenna ports |
| UE antenna configuration | 2 Tx/2 Rx antenna ports |
| System bandwidth | 160 MHz |
| Sub-carrier spacing | 120 kHz  Note: Other values for evaluation are not precluded. |
| Channel estimation | Practical |
| Receiver type | MMSE |
| Q value (i.e. SINR range) | Companies report the 5% Q value |

# 典型场景下的工业互联网频率需求计算

4.1 汽车制造场景下的工业互联网频率需求计算（NSB）

4.2 电子信息制造场景下的工业互联网频率需求计算（高通 ZTE）

4.3 结论与政策建议（为了实现工业互联网的发展，需要XX频谱，呼吁尽早规划频谱？？结论）

# 参考文献

1. Recommendation ITU-R M.1768-1,”Methodology for calculation of spectrum requirements for the terrestrial component of International Mobile Telecommunications”, 2013/04
2. Recommendation [ITU-R M.1651](http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1651/en), “A method for assessing the required spectrum for broadband nomadic wireless access systems including radio local area networks using the 5 GHz band”, 2003ss
3. Report ITU-R M.2078-0,” Estimated spectrum bandwidth requirements for the future development of IMT‑2000 and IMT-Advanced”, 2006
4. Report ITU-R M.2290-0,” Future spectrum requirements estimate for terrestrial IMT”, 2013/12
5. Report ITU-R M.2289-0,” Future radio aspect parameters for use with the terrestrial IMT spectrum estimate methodology of Recommendation ITU R M.1768-1”, 2013/12
6. ITU-R WP5D R15-TG5.1-C-0036!!MSW-E, “LS statement to TG5/1, spectrum needs and characteristics for the terrestrial component of IMT in the frequency range between 24.25 GHz and 86 GHz”, Feb, 28th, 2017
7. Recommendation [ITU-R M.2083](http://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083/en), “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,”
8. 5GAA S-180117,” Study of spectrum needs for safety related intelligent transportation systems”, 2018 July
9. CCSA SR239-2018, “智能交通车车/车路主动安全应用的频率需求和相关干扰共存研究”
10. 3GPP TR22.804 V16.1.0，” Study on Communication for Automation in Vertical Domains”，2018/09
11. 5G工业应用发展白皮书——2019年第二届“绽放杯”5G智慧工业征集大赛洞察

# 附件一：典型国家工业互联网频率管理规划与管理模式情况

# 附件二：频率需求测算分析与比较