**工业互联网产业联盟第二十一次全会**

**会议名称：频率工作组**

**会议地点：线上会议**

**会议时间：2023年1月11日**

**题目：垂直行业5G+工业互联网频谱需求研究-第二阶段**

**来源：**

**目的：讨论并发布**

联系人：

邮箱：

**垂直行业5G+工业互联网频谱需求研究-第二阶段（****大飞机制造、智能仓储、消费品制造和货运港口领域）**

**编写说明**

随着全球新一轮科技革命和产业变革深入推进，5G与工业互联网的融合将加速中国新型工业化进程，为中国经济发展注入新动能。2020年政府工作报告中，第一次写入“加强新型基础设施建设”，表示“新基建”正式上升为国家战略。2022年政府工作报告中，明确提出了“加快发展工业互联网”的部署要求；根据印发的《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023）》 ，到2023年，我国在10个重点行业将打造30个5G全连接工厂。工业互联网作将迎来前所未有的机遇，通过技术层面和商业模式层面的积极创新，不断推动制造业数字化转型。

通信网络是工厂数字化转型的基础，也是实现工业互联网的必要基础。本报告针对大飞机制造、智能仓储、消费品制造和货运港口领域的生产需求，结合新型制造与5G技术的融合，研究和分析该行业对频谱的具体需求，进而为监管机构未来的工业互联网频谱分配政策提供参考。

**编制单位：**

**编制人：**

**目录**

[**编写说明** 2](#_Toc124176783)

[一、引言 4](#_Toc124176784)

[二 5G+工业互联网典型应用 5](#_Toc124176785)

[2.1 移动机器人（AGV） 5](#_Toc124176786)

[2.2 运动控制 5](#_Toc124176787)

[2.3 大规模连接 6](#_Toc124176788)

[2.4 机器视觉（质检） 6](#_Toc124176789)

[三、工业互联网频谱需求测算方法 8](#_Toc124176790)

[3.1基于应用的工业互联网频率测算方法 8](#_Toc124176791)

[3.2相关测算参数设定 9](#_Toc124176792)

[四、大飞机制造场景下的工业互联网频谱需求计算 13](#_Toc124176793)

[五、智能仓储场景下的工业互联网频谱需求计算 13](#_Toc124176794)

[六、消费品制造场景下的工业互联网频谱需求计算 13](#_Toc124176795)

[七、货运港口场景下的工业互联网频谱需求计算 13](#_Toc124176796)

[八、总结和建议 13](#_Toc124176797)

[参考文献 13](#_Toc124176798)

[附件：缩写词列表 13](#_Toc124176799)

# 一、引言

随着全球新一轮科技革命和产业变革深入推进，5G与工业互联网的融合将加速中国新型工业化进程，为中国经济发展注入新动能。

2022年政府工作报告中，明确提出了“加快发展工业互联网”的部署要求；根据印发的《工业互联网创新发展行动计划（2021-2023）》 ，到2023年，我国在10个重点行业将打造30个5G全连接工厂。在工信部发布的《工业互联网专项工作组2022 年工作计划》中，将打造“5G+工业互联网”升级版列为重要任务，具体举措中指出“加快5G 全连接工厂建设”，通过技术层面和商业模式层面的积极创新，推动5G由生产外围环节向内部环节拓展， 推动5G在产线级、车间级的应用。 例如，5G技术以高可靠、大带宽、广连接、低时延等特性，可以帮助实现仓储空间内AGV、AMR、叉车、机械臂的本地高质量无线连接，再结合基于本地网络的部署方式，可有效解决现有仓储系统在连接可靠性、部署维护简便性方面的痛点。5G全连接工厂将应用到多种行业中推动工业互联网在行业应用，推动我国行业向工业4.0快速发展。

信息技术IT和生产控制OT网络融合，不断推进5G全连接工厂的应用需求，5G应用场景也不断发展演进，不同行业对于5G的频率需求亟待研究。本报告计划选取一些近期对5G工业互联网已经全连接工厂具有较强部署需求的行业，比如大飞机制造、智能仓储、矿山、港口、船舶总装、消费品行业等领域，研究其对于5G业务应用需求，结合新型制造与5G技术的融合，研究和分析不同行业应用场景对频谱的具体需求，进而为产业政策提供参考。

# 二 5G+工业互联网典型应用

## 2.1 移动机器人（AGV）

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或者室外具备连续覆盖，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。

## 2.2 运动控制

工业机器人是自动化产线上不可或缺的一部分。传统机器人通常搭配固定的PLC硬件，执行特定功能，而随着制造业向智能制造、柔性制造发展，未来机器人也将向云化发展。通过将控制、编程功能移向云端（包含边缘云），使得机器人可以利用云端的计算能力完成复杂的判断、行动以及协作，比如图像识别，两台机器人一些协作搬运更大的货物等等。这种情况下，通过无线通信网络，实现远端机器人和云端的控制器之间的通信，就变得更灵活。根据应用场景的不同，远端机器人既可能工作在室外，也可能在室内，甚至有可能是地下，回传的信息可以是设备状态、图像甚至视频等信息，而云端控制器则需要发送运动控制指令给远程机器人，因此一个灵活、能支持丰富传输特性的网络将变得非常重要。就运动控制指令而言，一个低时延、高可靠的传输通道尤为重要。

## 2.3 大规模连接

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。

## 2.4 机器视觉（质检）

机器视觉，就是用机器代替人眼来做测量和判断。随着4K、8K等超高清视频技术的发展，机器视觉结合5G与工业互联网，可以发展出大量的创新型应用。不仅可以实现精细原材料识别、精密定位测量等环节，还可应用于工业可视化、机器人巡检、人机协作交互等场景，利用机器视觉、人工智能算法，提高工业自动化、智能化水平。

利用VR/AR技术提高工作效率将是智能制造的一大趋势。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。

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。

在机器视觉中，由于具体应用采用不同的编码率、像素深度、帧率以及压缩比，对应的速率都不相同，表 1中给出的是本文计算采用的速率。

|  |
| --- |
|  |

表 1：不同格式的视频数据速率计算

# 三、工业互联网频谱需求测算方法

在对比分析了IMT常用的频率需求测算方法基础上，针对工业互联网应用特点，我们认为基于应用的测算方法更适用于工业互联网频率需求测算。

## 3.1基于应用的工业互联网频率测算方法

该方法采用ITU-R M.1651建议书[1]的方法，关于应用的输入参数可以反映各个国家的不同情况。

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

Rt = ∑ Rts

R = max(Rt)

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(用户数/km2) C、应用数据速率(bits/s) A、使用模式(%) U、以及无线技术相关的参数（每平方公里的小区个数 I、小区面积和小区平均频谱效率S）计算而得到。其中，连接密度C的定义在ITU-R建议书M.2083[2]中给出，可以由公式 连接密度C= (给定区域内的用户数) × (激活因子) 计算得到。使用模式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%。激活因子和使用模式可能被不同频率影响，以反应不同的运营环境。

表示给定电信密度的一组频率需求 (Hz)。 频率总需求量为R，频率需求应该取不同电信密度条件下最大的频率需求值。

当用于工业互联网工厂内网络频率分析时，可以对不同场景下的工厂内网络频率需求采用不同的参数分别进行评估，总的频率需求应该在各种不同场景中取其中的最大值。值得注意的是，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[3]。 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。因此， 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。

## 3.2相关测算参数设定

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 2所示。

表 2：基于应用的工业互联网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） |  |
| 小区总数Total cell number | 可由工厂面积与站间距计算得到 |
| 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 3所示。

表 3：基于应用的工业互联网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  total cell number | 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：

其中，小区平均频谱效率S，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，故此在工业互联网频谱需求预测场景中，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 4平均频谱效率最小需求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试环境 | 下行  (bit/s/Hz/TRxP) | 上行 (bit/s/Hz/TRxP) |
| Indoor Hotspot – eMBB | 9 | 6.75 |
| Dense Urban – eMBB | 7.8 | 5.4 |
| Rural – eMBB | 3.3 | 1.6 |

针对测算涉及的参数，一方面，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进行分析，比如采用基于5G的技术，则应采取5G空口设计在工厂网络环境下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。 另一方面，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，需要考虑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，在无线参数中针对不同应用考虑不同的负载因子。

# 四、大飞机制造场景下的工业互联网频谱需求计算

# 五、智能仓储场景下的工业互联网频谱需求计算

# 六、消费品制造场景下的工业互联网频谱需求计算

# 七、货运港口场景下的工业互联网频谱需求计算

# 八、总结和建议

# 参考文献

1. Recommendation ITU-R M.1651, “A method for assessing the required spectrum for broadband nomadic wireless access systems including radio local area networks using the 5 GHz band”
2. Recommendation ITU-R M.2083, “IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond”
3. 3GPP TR22.804 V16.1.0, “Study on Communication for Automation in Vertical Domains”, 2018/09
4. 2021-0628T-YD\_面向航空制造领域的“5G+工业互联网”应用场景及技术要求(送审稿)
5. H-202204283942\_面向家电制造领域的5G+工业互联网应用场景及技术要求(征求意见稿)
6. 2021-0626T-YD\_面向港口的5G+工业互联网应用场景及技术要求(征求意见稿)

# 附件：缩写词列表