

T/SSITS

团 体 标 准

T/SSITS 205—2023

工业应用移动机器人 无线通信 设计规范

Industrial Mobile Robot (IMR) Design Specifications of Wireless Communication

2023 - 12 - 13 发布

2024 - 1-1 实施

深圳市机器人标准检测技术学会
移动机器人 (AGV/AMR) 产业联盟 发布

目 次

目 次	1
前 言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 技术要求	4
4.1 总则	4
4.2 业务场景	5
4.3 无线终端	5
4.4 无线网络	6
附录 A 终端及网络测试方法	13
A.1 终端测试	13
A.2 网络测试	15

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。注意本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由深圳市机器人标准检测技术学会、深圳市新产研咨询服务有限公司提出并归口。

本文件起草单位：深圳艾灵网络有限公司，机科发展科技股份有限公司，深圳市海柔创新科技有限公司，三一机器人科技有限公司，中兴通讯股份有限公司，上海诺力智能科技有限公司，上海承飞航空特种设备有限公司。

本文件参编单位：杭州中威电子股份有限公司，苏州佳顺智能机器人股份有限公司，广州鲁邦通物联网科技股份有限公司，斯坦德机器人（深圳）有限公司，北京特种机械研究所，杭州恒昇智能装备科技有限公司，北京中微普业科技有限公司，江苏金陵智造研究院有限公司，浙江迈睿机器人有限公司，华晓精密工业（苏州）有限公司，山东有人物联网股份有限公司，厦门四信通信科技有限公司，华夏天信（北京）机器人有限公司。

本文件主要起草人：刘旸，谢昊天，林仕材，翁艳，张慧，茆福军，刘聪，王勇，任容玮。

本文件的历次版本发布情况为：

——2023年12月首次发布。

工业应用移动机器人无线通信设计规范

1 范围

本文件提出了工业应用移动机器人无线通信中，主要通信方式Wi-Fi及5G网络的基本技术要求。本文件适用于面向工业应用移动机器人的无线通信系统的工程设计及指标检测。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 15629.11-2003 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第11部分：无线局域网媒体访问控制和物理层规范

GB/T 2423.10-2019环境试验 第2部分 试验方法

GB 4943.1-2022音视频、信息技术和通信技术设备 第1部分：安全要求

GB/T 17799.2-2023电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准

GB 17799.4-2022电磁兼容 通用标准 第4部分：工业环境中的发射

GB/T 32420-2015 无线局域网测试规范

GB/T 42126.1-2022基于蜂窝网络的工业无线通信规范 第1部分：通用技术要求

YD/T 1312-2013 无线通信设备电磁兼容性要求和测试方法

YD/T 4009-2022 5G数字化室内分布系统技术要求

YD 5214-2015 无线局域网工程设计规范

T/SSITS 101-2020 工业应用移动机器人 术语

3GPP TS38.124 Electromagnetic compatibility (EMC) requirements for mobile terminals and ancillary equipment

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业应用移动机器人 industrial mobile robot (IMR)

应用在工业级物流领域中的，装备有导航装置，由车载控制系统控制，以轮式移动为特征，自带动力或动力转换装置的机器人。

[来源：T/SSITS 101-2020 工业应用移动机器人 术语 第3.1章]

3.2

车载控制系统 vehicle control system

用于控制工业应用移动机器人完成运动及操作功能的软件及相关器件的统称。

[来源：T/SSITS 101-2020 工业应用移动机器人 术语 第12.2章]

3.3

无线访问接入点 access point (AP)

任何一个具备站点功能，通过无线媒体为关联的站点提供访问分布式服务的能力的实体。

[来源: GB/T 15629.11-2003 信息技术 系统间远程通信和信息交换局域网和城域网 特定要求 第11部分: 无线局域网媒体访问控制和物理层规范 第3.2章]

3.4

无线接入控制器 AP controller (AC)

提供对AP的集中控制管理包括版本下发配置下发射频管理和用户流量管理。

[来源: GB/T 32420-2015 无线局域网测试规范 第3.1章]

3.5

服务集标识 Service Set Identifier (SSID)

SSID技术可以将一个无线局域网分为几个需要不同身份验证的子网络, 每一个子网络都需要独立的身份验证, 只有通过身份验证的用户才可以进入相应的子网络, 防止未被授权的用户进入本网络。

3.6

基站 base station

安装移动通信系统无线收发设备的通信站。

3.7

宏基站 macro cell

室外大型基站, 具有功率大、覆盖广等特点。

3.8

微基站 pico cell

微型化的基站, 通常指在楼宇中或密集区安装的小型基站。

3.9

室内分布式设备 indoor distributed equipment

利用室内天线将5G信号均匀分布在室内的分布式设备, 目的是保证室内区域拥有理想的信号覆盖。

3.10

无线终端 wireless terminal

无线终端是安装在工业应用移动机器人本体一侧, 为机器人提供无线数据传输能力的通信装置。

3.11

蜂窝网络 cellular network

将服务区分成许多小区(采用蜂窝结构组网), 其中每个小区分配一组或若干组频率的通信网络。

[来源: GB/T 42126.1-2022基于蜂窝网络的工业无线通信规范 第1部分: 通用技术要求 第3.5章]

3.12

数字化室内分布系统

数字化室内分布系统由基带单元、远端汇聚单元和无线射频单元组成, 向用户提供无线网的接入功能。

[来源: YD/T 4009-2022 5G数字化室内分布系统技术要求 第6.1章]

4 技术要求

4.1 总则

a) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统的网络架构、使用频段、发射功率等应按中华人民共和国工业和信息化部相关规定执行。

b) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统的改扩建工程宜在合理利用原有设施基础上参照本标准执行。

c) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统的设计应遵循通信行业技术政策, 技术体制及有关标准、规范的规定;

d) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统设计应密切结合我国通信发展实际情况, 合理利用现有资源, 做到技术先进、设计科学、经济合理、安全适用。设计的系统应满足可实施性、可管理性、可扩展性的要求;

e) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统设计应在充分调查和预测用户需求和运营维护要求的基础上进行, 并适应用户及业务发展的需要;

f) 面向工业应用移动机器人的无线通信系统的设计应符合工业通信网络领域关于网络和系统安全的国家有关标准;

g) 对于面向工业应用移动机器人的大型无线通信系统,宜进行多方案技术经济比较,提高经济效益;

h) 在本标准与国家有关标准、规范相抵触时,应按国家标准、规范的规定办理;

i) 本标准只涉及Wi-Fi和5G移动通信系统。

4.2 业务场景

4.2.1 室内业务场景

工业应用移动机器人的室内业务场景包括并不限于:产线物流,仓库物流,商超零售及物业管理等。

4.2.2 室外业务场景

工业应用移动机器人的室外业务场景包括并不限于:港口/码头,仓储物流,建筑施工,农业作业,环境巡检,矿产开采及机场货运等。

4.3 无线终端

无线终端应持有国家无线电管理委员会办公室核发的《无线电发射设备型号核准证》,并在出厂设备标牌上标明型号核准代码。

无线终端可采用的通信标准包括:

- | | |
|----|-----------------------|
| a) | IEEE 802.11系列通信标准; |
| b) | 3GPP R15/R16/R17通信标准。 |

4.3.1 环境适应性要求

供电方式:直流供电(9V~36V),防反接保护

工作温度: -0℃~+40℃

存储温度: -40℃~+85℃

环境相对湿度:10%~90%,无结露

气压:80kPa~110kPa。

4.3.2 EMC安全要求

支持进行电磁兼容试验,应至少包括:

- | | |
|----|------------------|
| a) | 静电放电抗扰度试验; |
| b) | 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验; |
| c) | 浪涌试验; |
| d) | 射频场感应和传导骚扰抗扰度试验; |
| e) | 电压暂降和短时中断试验。 |

试验结果应符合GB/T 17799.2-2023和GB 17799.4-2022的要求。

4.3.3 电气安全要求

在使用中涉及的供电电源、绝缘电阻、电击防护、介电性能、导线电缆、输出接口信号短路、爬电距离、电气间隙、泄露电流、耐受冲击电压、启动和运行检查等电气安全要求应符合GB 4943.1-2022的规定。

4.3.4 防爆安全要求

在石油和化学工业加工厂或具备爆炸性气体的区域中使用的无线终端应具备防爆安全功能,并符合GB 3836.1-2010的要求。

4.3.5 功能要求

- | | |
|----|-------------------|
| a) | 应支持以太网端口,宜支持工业串口; |
|----|-------------------|

- b) 应支持静态路由、动态路由；
- c) 应支持TCP/UDP、L2TP、IPSec、GRE或OpenVPN；
- d) 应支持链路在线检测，断线自动重连；
- e) 应支持NAT、DMZ、端口映射；
- f) 应支持设备运行自检技术，设备运行故障自修复；
- g) 应支持带宽管理，可实现协议控制数据流维护管理；
- h) 应支持telnet/web/ssh/远程平台配置；
- i) 应支持web升级/OTA远程升级；
- j) 应支持本地系统日志、远程日志，重要日志掉电保持；
- k) 应支持批量管理，宜支持TR069或SNMP协议；
- l) 应支持Ping/Trace/路由跟踪/AT指令测试等；
- m) 应支持配置文件导入导出、执行、恢复默认出厂配置；
- n) 支持主动切换功能，在信号衰减到阈值时，自动切换至信号更强的AP或基站，切换时间应低于1秒；
- o) 宜支持Wi-Fi ACS (Auto Channel Select)功能；
- p) 宜支持5G LAN及Redcap功能；
- q) 宜支持NTP(Network Time Protocol)时间同步功能。

4.4 无线网络

无线网络安装在工业应用移动机器人作业现场，为机器人侧的无线终端提供无线接入服务。根据采用的通信标准，无线网络可分为：

- a) Wi-Fi网络：采用IEEE 802.11系列通信标准，只支持Wi-Fi终端接入；
- b) 5G网络：采用3GPP R15/R16/R17蜂窝网络通信标准，只支持5G终端接入。

4.4.1 设计目标

- a) Wi-Fi网络：Wi-Fi覆盖设计应在工业应用移动机器人用户指定的区域中，根据业务场景及设备数量，合理制定AP布设方案，满足支撑工业应用移动机器人正常作业的通信质量要求；
- b) 5G网络：5G覆盖设计应在工业应用移动机器人用户指定的区域中，根据业务场景，制定基站布设方案，满足支撑工业应用移动机器人正常作业的通信质量要求。

4.4.2 Wi-Fi覆盖要求

Wi-Fi覆盖设计应根据指定业务场景，结合AP安装位置周边环境情况，计算传播损耗，进行容量规划，确定AP安装位置及线路布设方案，实现目标区域的连续覆盖,并尽可能避免同频干扰。

4.4.2.1 室内网络

Wi-Fi室内网络宜采用室内型AP，工作频段可选择2.4GHz及5.8GHz。

安装和配置室内型AP的一般方法和原则包括：

- a) 室内型AP宜采用至少一副天线直接覆盖目标区域。天线可安装在AP天线口或通过同轴电缆进行连接；
- b) 室内型AP的安装位置应尽可能接近天线的位置，并注意频率间隔、功率间隔和环境美化；
- c) 室内型AP的天线放置应确保对目标区域形成良好覆盖效果。采用外接天线时，天线应安装在对覆盖效果影响不大的隐蔽位置,或采用美化天线;如果是金属材质的天花板,则必需将天线安置于天花板之外；
- d) 在满足目标区域覆盖需求的前提下，室内型AP的安装位置应考虑传输和电源引入、维护检修的便利性。室内型AP对于电源及传输的使用应符合YD 5214-2015的规定；
- e) 各AP之间应尽量减少信道干扰；
- f) AP同时使用2.4GHz及5.8GHz双频段工作时，宜采用2.4GHz进行远距离覆盖，宜采用5.8GHz进行近距离覆盖；

g) 工作在5.8GHz频段的AP宜支持DFS(Dynamic frequency selection)功能。

4.4.2.2 室外网络

Wi-Fi室外网络宜采用工作在2.4GHz频段的室外型AP，并支持最大发射功率可调节。若2.4GHz频段子频点的频率干扰及占用情况严重，也可使用工作在5.8GHz频段的室外型AP。

安装和配置室外型AP的一般方法和原则包括：

- a) Wi-Fi室外网络宜采用部署在不同位置的多个AP从多个方向，对信号传播损耗严重的目标区域进行覆盖；
- b) Wi-Fi室外网络宜采用部署在不同位置的多个AP，对面积较大的目标区域进行连续覆盖；
- c) 室外型AP宜采用定向天线或者全向天线，并通过调节天线的挂高、下倾、水平/垂直波瓣角等参数优化覆盖能力；
- d) 室外型AP应根据频率清查情况，选择工作在频率干扰及占用最小的子频点；
- e) 室外型AP应安装在遮挡尽量少并能对目标区域形成良好覆盖的位置，应避免高大的墙体、广告牌、枝繁叶茂的树木等对信号的阻挡，目标覆盖区域与AP天线之间宜为视距环境；
- f) 在满足目标区域覆盖需求的前提下，室外型AP的安装位置应考虑传输和电源引入、维护检修的便利性及美观防盗等因素。室外型AP对于电源及传输的使用应符合YD 5214-2015的规定。

4.4.2.3 组网方案

组网方式	组网内容	适用条件	组网架构
集中式组网	- AP通过机器人作业现场网络与AC及其他AP相连，AC通过边界路由器或者交换机与企业内部网络相连。 - AP完成无线射频接入功能，包括无线信号发射与探测响应、数据加密解密、数据传输确认等。 - AC集中处理安全、控制和管理功能，包括移动管理、身份验证、VLAN划分、射频资源管理和数据包转发等。	- 网络规模小，AP数量较少（≤ 5个） - 网络数据转发量较小（$\leq 10\text{Gbps}$） - AP配置需要集中管控 - 网络流量需要集中管控	见图1
分布式组网	- AP通过机器人作业现场网络与其他AP相连，并通过边界路由器或者交换机与企业内部网络相连。 - AP完成无线射频接入、安全、控制及管理功能，包括无线信号发射与探测响应、数据加密解密、数据传输确认、身份验证、VLAN划分和数据包转发等。	- 网络规模适中，AP数量适中（≤ 20个，且≥ 5个） - AP配置无需集中管控 - 网络流量无需集中管控	见图2
混合式组网	- AP通过机器人作业现场网络与AC及其他AP相连，并通过边界路由器或者交换机与企业内部网络相连。 - AP完成无线射频接入功能，包括无线信号发射与探测响应、数据加密解密、数据传输确认和数据包转发等。 - AC集中处理安全、控制和管理功能，包括移动管理、身份验证、VLAN划分、射频资源管理等。	- 网络规模适中，AP数量较多（≥ 20个） - AP配置需要集中管控	见图3

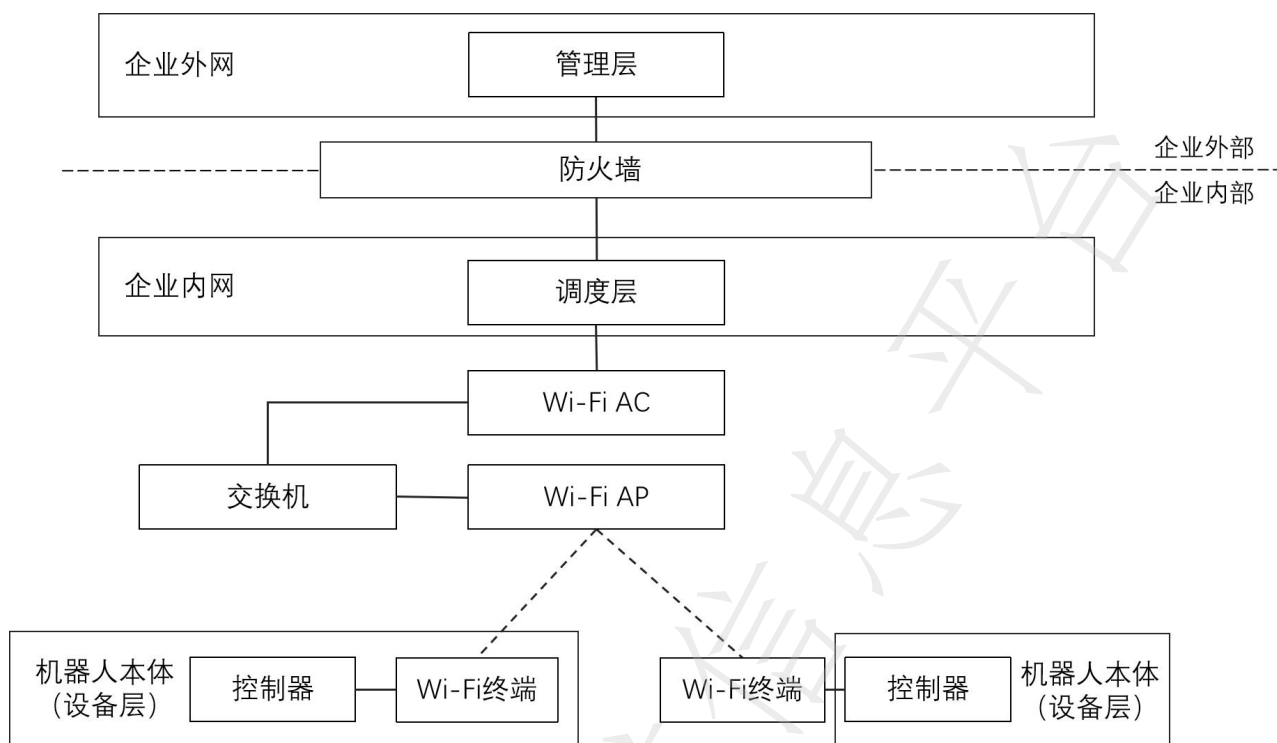


图1 支持移动机器人系统接入的WiFi网络架构（集中式组网）

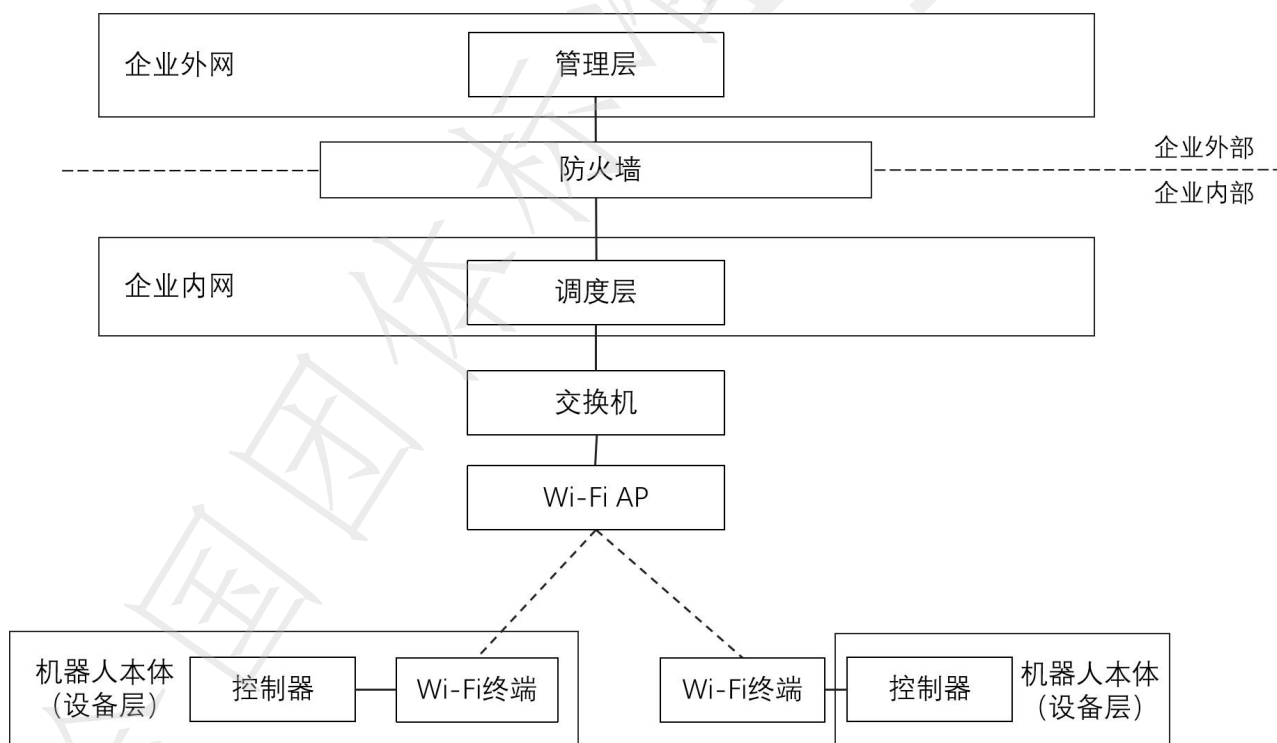


图2 支持移动机器人系统接入的WiFi网络架构（分布式组网）

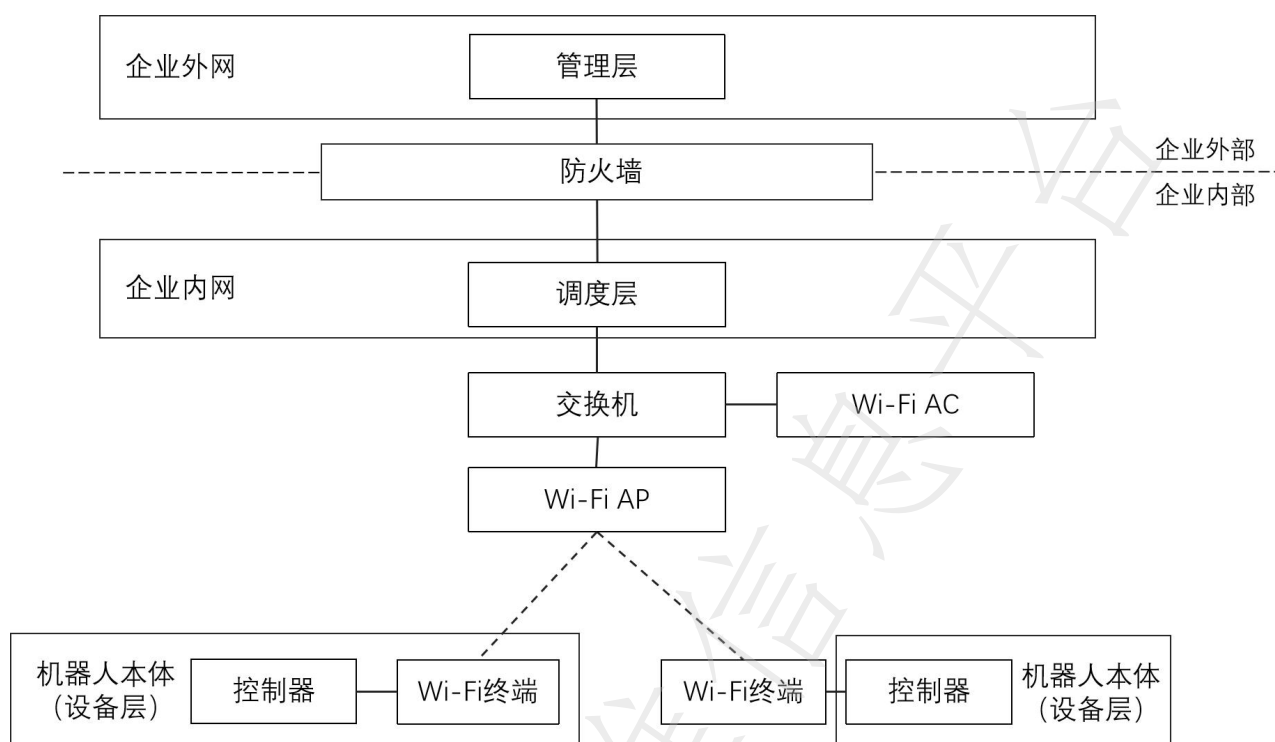


图3 支持移动机器人系统接入的WiFi网络架构（混合式组网）

4.4.2.4 网管系统

网管系统应支持统一管理全网各覆盖区域内的无线终端及无线AP，并满足企业内网网络安全要求。网管系统的管理内容包括但不限于应支持设备管理、用户管理、网络管理、安全管理、审计和报告等。具体功能如下：

- 设备管理：对接入网络的设备进行管理，控制网络中设备的数量和类型、并支持对设备进行远程升级等；
- 用户管理：对网络用户进行身份验证、授权和访问策略控制等；
- 网络管理：对Wi-Fi网络进行配置和管理，包括调整网络参数和性能等；
- 安全管理：支持多种安全功能和政策，如WPA/WPA2/WPA3、TKIP/AES、CTAP、PSK等协议；
- 审计和报告：对网络中的活动、事件进行监控、日志记录和分析。

4.4.2.5 质量指标

- 无线覆盖信号强度

在设计目标覆盖区域内，覆盖接收信号强度应不低于-65dBm。

- 终端接入速率控制

为了防止网络带宽被部分终端过度抢占，在AP端应支持对特定终端进行限速。

- 用户自定义指标

应支持用户根据业务场景需要，自行定义网络质量指标，包括并不限于上行速率、下行速率、双向延迟、速率稳定性、确定性双向延迟等。

4.4.3 5G覆盖要求

5G覆盖设计应根据指定业务场景，结合基站站址周边环境情况，计算传播损耗，校正传播模型，完成覆盖预测，实现目标区域的连续覆盖。宜通过无线网络仿真，确定基站站址及线路布设方案。

5G基站不应部署在易燃、易爆的仓库和材料堆积场，以及在生产过程中容易发生火灾和爆炸危险、散发较多粉尘或有腐蚀性排放物的厂房附近。

4.4.3.1 室内网络

5G室内网络宜采用的频段包括n41、n46、n78及n79。

对于覆盖面积不低于5000平米的室内目标区域，宜采用数字化室内分布系统。对于覆盖面积低于5000平米的室内目标区域，可采用数字化室内分布系统或微基站。

5G室内网络设计内容包括：

a) 天馈系统设置

对于数字化室内分布系统，应对射频拉远单元（pRRU）进行优化设置，降低不同pRRU之间的重叠覆盖率及相互间干扰。pRRU安装位置宜选择便于线路铺设的地方，可采用挂墙、监控杆或吸顶等部署方式。

对于微基站，应对其射频工作参数进行优化设置，降低不同基站间的重叠覆盖率及相互间干扰。

b) 频率配置

基站工作频率应按照国家相关规定配置使用，提供必要的保护频带，以满足干扰保护比的要求。

c) 基站站址选择

对于数字化室内分布系统，站址应尽量共用已有IT机房，新建机房应考虑与其他IT网络设备共用。若现场不具备IT机房建设条件，可采用独立的一体化IT机柜或工业控制柜做为站址，并部署在室内有可靠电源，便于线路铺设的地方。

对于微基站，站址宜选择室内有可靠电源，便于线路铺设的地方，可采用挂墙、监控杆或吸顶等部署方式。

4.4.3.2 室外网络

5G室内网络宜采用的频段包括n28、n41及n46。

对于覆盖半径超过200米的室外目标区域，宜采用宏基站。对于覆盖半径不超过200米的室外目标区域，宜采用室外微基站。

5G室外网络设计内容包括：

a) 天馈系统设置

对于宏基站，应通过优化设置基站天线的高度、方向角和俯仰角等参数，降低不同基站间的重叠覆盖率及相互干扰。

对于室外微基站，应通过优化设置基站的射频工作参数，降低不同基站间的重叠覆盖率及相互干扰。在非高楼定向覆盖场景下，基站天线设置应避开周围50米以内的高大建筑物、广告牌、高塔和地形地物等的阻挡。

b) 频率配置

基站工作频率应按照国家相关规定配置使用，提供必要的保护频带，以满足干扰保护比的要求。

c) 基站站址选择

对于宏基站，站址宜选择在有可靠电源、高度适当的建筑物或有可利用铁塔的地点。建筑物高度不能满足基站天线高度要求时，应有在屋顶架设塔桅或在地面立塔的条件。

对于室外微基站，站址宜选择在目标覆盖区附近，可采用挂墙、抱杆、路灯杆、监控杆或电线杆等部署方式。当基站部署在飞机场附近时，其铁塔、桅杆高度应符合机场净空高度要求。

4.4.3.3 组网方案

基站通过5G核心网系统与企业内部网络相连。5G核心网系统包括用户面功能及控制面功能，其中用户面功能包括UPF，控制面功能包括AMF，SMF，PCF，NSSF，UDM，NEF等。

5G核心网宜运行在通用服务器上，并部署在企业IT机房或独立的一体化机柜中。其中，独立的一体化机柜应部署在室内有可靠电源，便于线路铺设的地方。

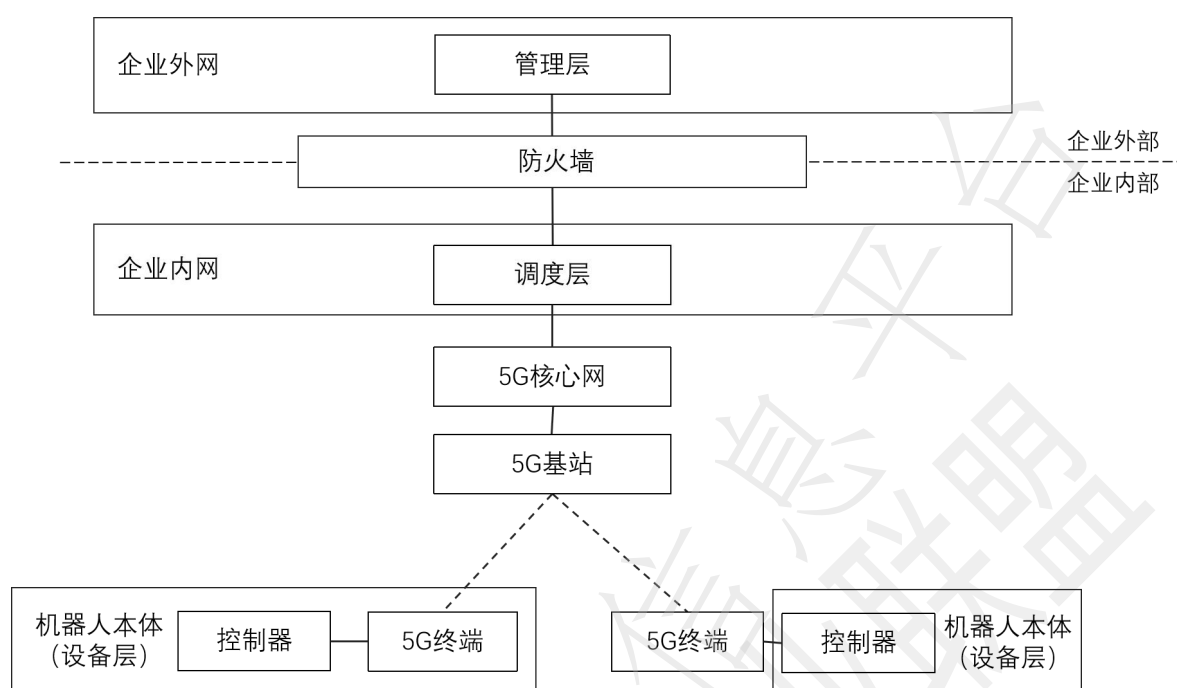


图4 支持移动机器人系统接入的5G网络架构

4.4.3.4 网管系统

网管系统应支持统一管理全网各覆盖区域内的无线终端，基站及5G核心网。网管系统的管理内容应包括并不限于

a) 配置管理

网管系统可向网络进行的配置包括但不限于：基站功率、基站时隙配比、基站节电配置（PSM、DRX）、QoS参数、网络切片、网元IP地址及网元名称等。

b) 故障管理

网管系统应支持故障告警及故障升级，宜支持故障分析定位，并给出处理建议。

c) 性能管理

网管系统应支持核心网网元性能监测，无线基站性能监测及终端性能监测，宜支持业务与网络性能指标关联分析及自定义监测界面。

d) 拓扑管理

网管系统应支持显示网络拓扑信息、设备IP地址、网元名称、设备数量、小区数量、实时用户数、设备状态（离线、在线）、小区状态、网元位置及终端分布等。

e) 安全管理

网管系统应支持访问账号管理、访问请求鉴权认证、权限管理、漏洞升级、日志管理、版本管理、网络加密及终端强制下线，宜支持发现网络安全威胁。

网管系统宜通过IP协议连接所管辖的网络设备。

网管系统应面向第三方管理系统提供标准接口，实现数据互通。

网管系统应支持用户远程接入，并应设置安全管理机制。

网管系统应具备统计功能，并支持输出系统参数和网络运行数据。

4.4.3.5 质量指标

5G无线网络覆盖应满足以下质量指标：

a) 无线覆盖信号强度

在设计目标覆盖区域内，参考信号电平（SS-RSRP）不小于-100dbm。

b) 无线可通率

在设计目标覆盖区域内，应满足无线终端在90%的位置，99%的时间可接入网络。

c) 异频组网能力

多个频段协同组网时，可通过合理的异频组网策略和方案实现连续覆盖。

d) 用户自定义指标

应支持机器人用户根据业务场景需要，自行定义网络质量指标，包括并不限于上行速率、下行速率、双向延迟、速率稳定性、确定性双向延迟等。

附录 A 终端及网络测试方法 (资料性附录)

A.1 终端测试

在满足工况环境的目标覆盖区放置单台无线终端，在无线网络中部署测试服务器。无线终端通过以太网端口连接一台测试电脑。测试过程中，无线终端可处于静止或运动状态。

对于Wi-Fi无线网络，测试服务器接入网络边界交换机。对于5G无线网络，测试服务器接入UPF。

测试电脑典型配置如下：

- a) 处理器: Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30GHz;
- b) 内存: 16.0 GB;
- c) 硬盘: 200G SSD;

测试服务器典型配置如下：

- a) 处理器: Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30GHz;
- b) 内存: 16.0 GB;
- c) 硬盘: 500G SSD;

A.1.1 上行速率

A.1.1.1 测试方法1

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件，在测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从FTP客户端向FTP服务器上传文件，上传过程至少持续5分钟。 3. 从FTP服务器读取文件传输速率数值
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线终端能够支持的最大上行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映上行速率稳定性。差值越小，表明稳定性约大。差值越大，表明稳定性约小。

A.1.1.2 测试方法2

测试步骤	1. 在测试服务器上启动iperf3软件，将其设置为服务器模式，且报告时间间隔不大于2秒。 2. 在测试电脑上启动iperf3软件，将其设置为客户端模式，且报告时间间隔不大于2秒。 3. 通过iperf3软件，从测试电脑向测试服务器，以指定的速率发送UDP数据包，该过程至少持续5分钟。 4. 从测试服务器读取UDP传输速率数值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)

补充说明	1. 本测试方法用于测试无线终端是否能够支持指定的上行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映上行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性约大。差值越大, 表明稳定性约小。
------	--

A.1.2 下行速率

A.1.2.1 测试方法1

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件, 在测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从FTP客户端向FTP服务器下载文件, 下载过程至少持续5分钟。 3. 从FTP服务器读取文件传输速率数值
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线终端能够支持的最大上行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映下行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性约大。差值越大, 表明稳定性约小。

A.1.2.2 测试方法2

测试步骤	1. 在测试服务器上启动iperf3软件, 将其设置为客户端模式, 且报告时间间隔不大于2秒。 2. 在测试电脑上启动iperf3软件, 将其设置为服务器模式, 且报告时间间隔不大于2秒。 3. 通过iperf3软件, 从测试服务器向测试电脑, 以指定的速率发送UDP数据包, 该过程至少持续5分钟。 4. 从测试服务器读取UDP传输速率数值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线终端是否能够支持指定的下行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映下行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性越大。差值越大, 表明稳定性越小。

A.1.3 双向延迟

测试步骤	1. 从测试服务器向测试电脑持续发出至少3000个ping报文，发送间隔不大于200毫秒。 2. 从测试服务器读取每个ping报文的响应延迟数值
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. 最小值 4. P95 (95百分位值) 5. P99 (99百分位值) 6. P99.9 (99.9百分位值) 7. P99.99 (99.99百分位值) 8. P99.999 (99.999百分位值)
补充说明	1. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 2. 百分位值可用于反映双向延迟确定性。例如，P99.99 = 20ms说明双向网络延迟低于20ms的样本数占总样本数的百分比达到99.99%。 3. P99.99及P99.999适用于评估网络能否满足机器人运动控制对于双向延迟确定性的要求。 4. 为记录P99.99及P99.999数值，持续发出的ping报文数量应不低于300000个

A.1.4 丢包率

测试方法	1. 从测试服务器向测试电脑持续发出至少30000个ping测试报文，发送间隔不大于200毫秒。 2. 统计测试电脑接收到的测试报文数量。
测试数据	1. 收到测试包数量 2. 丢包数量=发送测试包数量-收到测试包数量 3. 丢包率=丢包数/发送测试包数量*100%

A.1.5 EMC

终端应按照YD/T 1312-2013及3GPP TS38.124中的要求进行测试。

A.1.6 振动

终端应按照GB/T 2423.10-2019中的要求进行测试。

A.1.7 高低温

从环境温度-30 °C开始，以5 °C为单位进行测试，每次测试一个小时，一直到75 °C。在该温度范围内，无线终端全部功能均可正常工作。

A.2 网络测试

在满足工况环境的目标覆盖区放置不少于两台无线终端，在无线网络中部署测试服务器。每个无线终端通过以太网端口连接一台测试电脑。测试过程中，无线终端可处于静止或运动状态。

对于Wi-Fi无线网络，测试服务器接入边界交换机。对于5G无线网络，测试服务器接入UPF。

测试电脑典型配置如下：

- a) 处理器: Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30GHz;
- b) 内存: 16.0 GB (15.8 GB 可用);
- c) 硬盘: 200G SSD。

测试服务器典型配置如下:

- a) 处理器: Intel(R) Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 2.30GHz;
- b) 内存: 16.0 GB (15.8 GB 可用);
- c) 硬盘: 500G SSD。

A.2.1 信号强度

A.2.1.1 Wi-Fi信号强度

在目标覆盖区, 启动安装了Cellular-Z网络测试软件的智能手机。选择打开软件中的WiFi性能监视界面, 读取记录当前接入AP的信号强度数值。

A.2.1.2 5G信号强度

在目标覆盖区, 启动安装了Cellular-Pro网络测试软件的5G智能手机。选择打开软件中的NR5G性能监视界面, 读取记录当前接入小区的RSRP数值。

A.2.2 上行速率

A.2.2.1 测试方法1

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件, 在测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从所有FTP客户端向FTP服务器同时上传文件, 上传过程至少持续15分钟, 所有FTP客户端应在10分钟内向FTP服务器发起文件上传。 3. 从FTP服务器读取所有FTP客户端的文件传输速率数值, 记录文件上传过程中最后5分钟内每个FTP客户端的最高速率值及平均速率值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线网络能够支持的最大上行速率。 2. 百分位值指样本总体中, 在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映上行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性越大。差值越大, 表明稳定性越小。

A.2.2.2 测试方法2

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件, 在测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从所有FTP客户端向FTP服务器同时上传文件, 上传过程至少持续15分钟, 所有FTP客户端应在10分钟内向FTP服务器发起文件上传。 3. 从FTP服务器读取所有FTP客户端的文件传输速率数值, 记录文件上传过程中最后5分钟内每个FTP客户端的最高速率值及平均速率值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)

补充说明	1. 本测试方法用于测试无线网络是否能够指定的上行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映上行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性约大。差值越大, 表明稳定性约小。
------	--

A.2.3 下行速率

A.2.3.1 测试方法1

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件, 在所有测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从所有FTP客户端向FTP服务器同时下载文件, 下载过程至少持续15分钟, 所有FTP客户端应在10分钟内向FTP服务器发起文件下载。 3. 从FTP服务器读取所有FTP客户端的文件传输速率数值, 记录文件下载过程中最后5分钟内每个FTP客户端的最高速率值及平均速率值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线网络能够支持的最大下行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映下行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性约大。差值越大, 表明稳定性约小。

A.2.3.2 测试方法2

测试步骤	1. 在测试服务器上启动FTP服务器软件, 在所有测试电脑上启动FTP客户端软件。 2. 从所有FTP客户端向FTP服务器同时下载文件, 下载过程至少持续15分钟, 所有FTP客户端应在10分钟内向FTP服务器发起文件下载。 3. 从FTP服务器读取所有FTP客户端的文件传输速率数值, 记录文件下载过程中最后5分钟内每个FTP客户端的最高速率值及平均速率值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. P5 (5百分位值) 4. P50 (50百分位值) 5. P95 (95百分位值)
补充说明	1. 本测试方法用于测试无线网络是否能够支持指定的下行速率。 2. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 3. P95与P50及P5之间的差值可反映下行速率稳定性。差值越小, 表明稳定性约大。差值越大, 表明稳定性约小。

A.2.4 双向延迟

测试步骤	1. 从测试服务器向所有测试电脑持续发出至少3000个ping报文，发送间隔不大于200毫秒。 2. 从测试服务器读取所有测试电脑每个ping报文的响应延迟，记录如下数值。
测试数据	1. 最大值 2. 平均值 3. 最小值 4. P95 (95百分位值) 5. P99 (99百分位值) 6. P99.9 (99.9百分位值) 7. P99.99 (99.99百分位值) 8. P99.999 (99.999百分位值)
补充说明	1. 百分位值指样本总体中,在此样本值以下的样本数占总样本数的百分比。 2. 百分位值可用于反映双向延迟确定性。例如，P99.99 = 20ms说明双向网络延迟低于20ms的样本数占总样本数的百分比达到99.99%。 3. P99.99及P99.999适用于评估网络能否满足机器人运动控制对于双向延迟确定性的要求。 4. 为记录P99.99及P99.999数值，持续发出的ping报文数量应不低于300000个