

T/WAA

世界无线局域网应用发展联盟团体标准

T/WAA 012—2024

WLAN 工业终端性能测试规范

WLAN Industrial Terminal Performance Test Specification

2024 - 9 - 11发布

2024 - 9 - 11实施

世界无线局域网应用发展联盟（WAA） 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.1 应用层 application Layer 1

 3.2 WLAN 工业终端 WLAN Industrial Terminal..... 1

 3.3 接收器灵敏度 RF performance 1

 3.4 带宽 Bandwidth 1

 3.5 稳定性 Stability 1

4 缩略语 1

5 测试工具和测试方法 2

 5.1 自动化测试工具 2

 5.2 测试床的能力要求 2

6 测试流程 2

 6.1 测试准则 2

 6.2 测试流程 2

 6.3 带宽性能测试 3

 6.4 连接性能测试 3

 6.5 覆盖性能测试 4

 6.6 漫游性能测试 5

 6.7 可靠性测试 5

 6.8 时延性能测试 5

7 工业典型场景性能测试用例 6

 7.1 仓储场景性能测试 6

 7.2 生产车间 PLC 场景 7

 7.3 PLC 场景性能测试..... 7

 7.4 机器视觉场景性能测试 7

 7.5 电力行业场景（巡检机器人）性能测试 8

 7.6 协同控制场景性能测试 9

附 录 A （资料性） 常见障碍物信号衰减参考值..... 11

 A.1 常见障碍物信号衰减参考值 11

附 录 B （资料性） 常见工业应用时延要求..... 12

 B.1 常见工业应用时延要求 12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利权和著作权。本文件的发布机构不承担识别专利和著作权的责任。世界无线局域网应用发展联盟不对标准涉及专利的真实性、有效性和范围持有任何立场；不涉足评估专利对标准的相关性或必要性；不参与解决有关标准中所涉及专利的使用许可纠纷等。

本文件由世界无线局域网应用发展联盟标准委员会提出并归口。

本文件由世界无线局域网应用发展联盟拥有版权，未经允许，严禁转载。

本文件起草单位：机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、华为技术有限公司、思博伦通信科技(北京)有限公司、新华三技术有限公司、广东南方电力通信有限公司、中国信息通信研究院、深圳市亚启科技有限公司、中兴通讯股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、深圳市极致汇仪科技有限公司、深圳大学电子与信息工程学院。

本文件主要起草人：郑秋平、范大卫、王岩、罗桂兴、刘乘昱、李方健、陈洁、季晨荷、马晓刚、方明、张文君、雷根、樊智超、赵艳领、王振、全智、顾一帆、张睿。

WLAN 工业终端性能测试规范

1 范围

本文件用于指导WAA认证工业场景终端设备性能体验的测试。
本文件规定了基于WLAN的工业终端的测试流程、测试环境、测试方法以及测试报告的编制。
本文件适用于工业设备制造商，评测机构等对于工业终端的研发和评测。

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 9387-1-1998 信息技术 开放系统互联 基本参考模型 第1部分：基本模型

T/WAA 011-2014 WLAN工业终端性能技术要求

IEEE 802.11ax (IEEE Std. 802.11-2020) IEEE信息技术标准，用于系统间电信和信息交换，本地和城域区域网络特定要求 第11部分：无线局域网介质访问控制（MAC）和物理层（PHY）规范（IEEE Standard for Information Technology Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements Part 11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 应用层 application Layer

应用层由在OSI环境中进行协作的应用程序实体组成。

[来源：GB/T 9387-1：1998，6.1.4]

3.2 WLAN 工业终端 WLAN Industrial Terminal

无线接入WLAN数据的初始来源或最终目的地。

3.3 接收器灵敏度 RF performance

接收器可以接收到的并仍能正常工作的最低信号强度。

3.4 带宽 Bandwidth

在没有帧丢失的情况下，设备能够接收并转发的最大数据速率。（单位：字节/秒）

3.5 稳定性 Stability

工业终端在压力下的稳定性能，在一定时间内持续监控吞吐量和连接可用性。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AC：接入控制器（Access Controller）

AGV：自动导引车（Automated Guided Vehicle）

AP：接入点（Access Point）

CPE：客户终端设备（Customer Premise Equipment）

KPI：关键性能指标（Key Performance Indicator）

- NLOS: 非视距 (Non Line of Sight)
- PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)
- RSSI: 接收的信号强度指示 (Received Signal Strength Indication)
- STA: 终端 (Station)
- WAPI: 无线局域网鉴别和保密基础结构 (Wireless LAN Authentication and Privacy Infrastructure)
- WLAN: 无线局域网 (Wireless Local Area Network)

5 测试工具和测试方法

5.1 自动化测试工具

WAA测试床提供性能体验测试全套的自动化工具，包括网元控制、终端控制、流量生成等，如无特殊说明，将使用自动化工具套件完成性能体验测试。

5.2 测试床的能力要求

WLAN工业终端以CPE外挂终端设备居多，测试床选用CPE作为测试对象。WLAN端到端测试方案如图1所示。

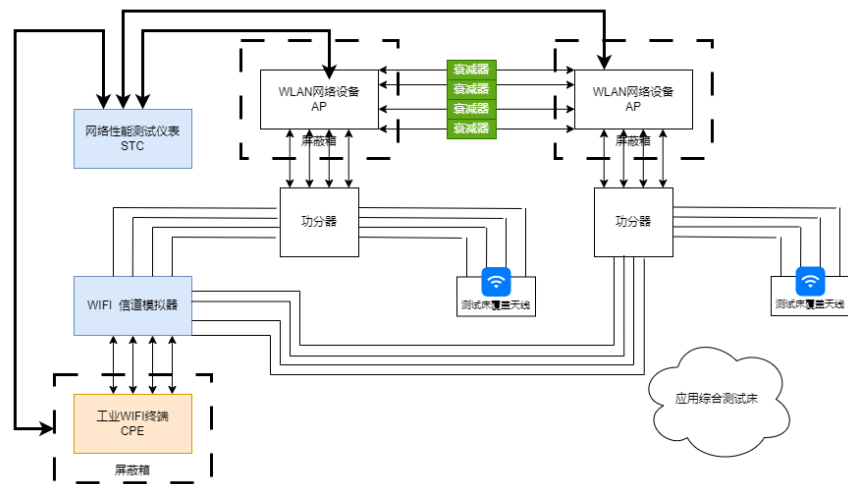


图1 WLAN 端到端测试方案

WLAN工业终端性能测试配置，包括流量生成、终端模拟、干扰生成。测试设备可集成在测试箱，也可单独布在工业应用现场进行测试。

6 测试流程

6.1 测试准则

- 通过国家入网测试，满足设备使用国家的入网要求，比如发射功率等。
- 测试应符合以下要求：
- a) 测试的保密性：在实施测试过程中，应对所获得或者产生的所有信息保密；
 - b) 测试结果的可重复性：在相同条件下执行测试，测试结果都应一致；
 - c) 测试结果的可审查性：在执行测试过程中，应记录原始测试数据，实现测试过程的可追溯。

6.2 测试流程

- 测试流程如图2所示，包括：
- a) 测试范围确定：根据工业应用场景设计方案，确定测试对象，根据 WLAN 工业应用需求及工业 WLAN 网络设计和建设方案，确定测试指标；
 - b) 测试大纲制订：根据测试范围和测试方法，确定测试用例，签署测试免责声明等；

- c) 测试测试执行：根据测试大纲，搭建测试环境，选定测试场景（实验室测试或测试床测试，固定终端或移动终端），进行相关测试；
- d) 测试报告生成：测试报告应包括测试基本信息及结论、测试环境、测试测试项目等内容。

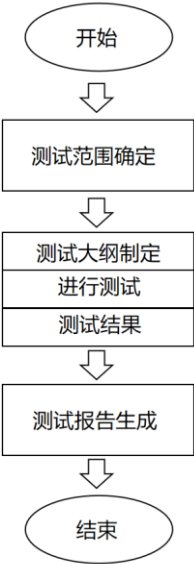


图2 测试流程

6.3 带宽性能测试

测试目的：利用端到端测试床构建WLAN工业终端测试环境。利用信道仿真器模拟特定射频场景，从而评估例如大型厂房覆盖场景下的产品性能能否达到规范要求。

测试方法：如图1所示，环境按照要求配置。带宽性能测试方法如下：

- a) 按图 1 连接测试环境；
- b) 信道仿真器加载直通信道文件，并调整输出功率到起测点；
- c) 设定网络测试仪表按照 RFC2544¹⁾测试方法分上下/行单独测试及上下行流量混合测试，发送 64/128/256/512/1024/1518Bytes 上下行数据报文。记录吞吐量测试结果及 STA RSSI 等指标；该指标作为理想信道条件下设备吞吐量基准数值；
- d) 步骤 c) 结束后，信道仿真器加载信道模型，进行劣化信号质量下的数据带宽性能测试；
- e) 重复步骤 c)，记录吞吐量测试结果及 STA RSSI 等指标，该指标作为非理想信道条件下设备吞吐量数值；
- f) 与理想信号质量下，数据吞吐量结果相比较，评估损失比是否合理；
- g) 设定网络测试仪表按照 1000pps 速率发送 128Bytes 上下行数据报文。重启 WLAN 工业终端设备，根据丢包个数计算通断时间；
- h) 设定网络测试仪表按照 1000pps 速率发送 128Bytes 上下行数据报文。重启网关，根据丢包个数计算通断时间。

带宽性能测试数据记录见表 1。

表1 带宽性能测试结果

测试项目	RSSI	吞吐	平均时延	丢包率	MCS（调制和解调方案）
理想条件					
衰落条件					
恶化比例					

6.4 连接性能测试

1) 网络设备性能测试和测量基准方法

测试目的：测试STA（Wi-Fi CPE）终端断电和软重启操作造成的网络终端时间。

测试方法：测试环境由测试主机和被测对象WLAN工业终端设备组成，如图3连接方法搭建测试环境。测试主机应根据工业应用场景选择有线接入或者WLAN网络接入方式，WLAN工业终端设备采用WLAN网络接入方式。

注：如进行接收器灵敏度测试，通过测试接收机饱和电平。

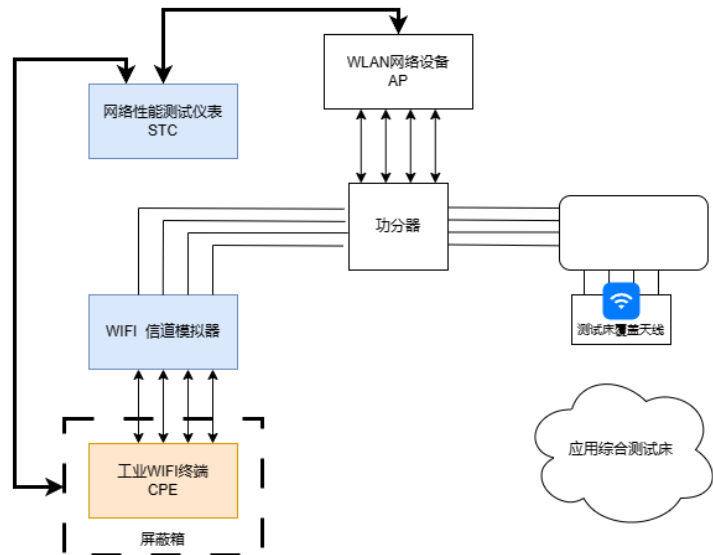


图3 连接性能测试拓扑

根据WLAN工业终端设备的实际网络接入方式选择以下测试方法，测试次数不应少于3次。

- a) 按图 3 连接测试环境；
- b) 设定网络测试仪表按照 1000pps 速率发送 128Bytes 上下行数据报文。重启 WLAN 工业终端设备，根据丢包个数计算通断时间；
- c) 设定网络测试仪表按照 1000pps 速率发送 128Bytes 上下行数据报文。重启网关，根据丢包个数计算通断时间。

表2 连接性能测试数据记录表格

序号	发送速率（pps）	上行数据包（Bytes）	下行数据包（Bytes）	通断时间（s）
1	1000	128	128	
2	1000	128	128	
3	1000	128	128	

6.5 覆盖性能测试

测试目的：测试WLAN工业终端在保证最低数据转发性能和时延的前提下，可以达到的最远传输距离。

测试方法：测试拓扑图同图3，漫游性能测试方法如下：

- a) 按图 3 连接测试环境；
- b) 信道仿真器加载直通信道文件，并调整输出功率到起测点；
- c) 设定网络测试仪表按照 RFC2544 测试方法分上下/行单独测试及上下行流量混合测试，发送 64/128/256/512/1024/1518Bytes 上下行数据报文。记录吞吐量/时延/抖动测试结果及 STA RSSI 等指标；
- d) 步骤 c)结束后，信道仿真器加载 1dB 信衰减(也可参考标准选取 3~5 个信号强度点，同时可讨论及其他信道影响因素)；
- e) 记录吞吐量测试结果及 STA RSSI 等指标，该指标作为理想信道条件下设备吞吐量数值；
- f) 重复步骤 c)，直至上行吞吐量数据小于 2Mbps/下行吞吐量小于 2Mbps/时延大于 80ms/抖动大于 100ms（四条件满足任意一条即退出测试执行）。

6.6 漫游性能测试

测试目的:测试WLAN工业终端与预设定距离（例如最大距离的60%）AP1连接后，测试终端以不同速度沿两个AP位置平行方向，向AP2方向移动，观察切换到AP2后是否会有网络中断（数据丢包）现象发生，记录AP间切换导致的网络中断时长。

测试方法：漫游性能测试拓扑图如图1，漫游性能测试方法如下：

- a) 按图 1 连接测试环境；
- b) 设置两个 AP 发射功率一致，信道仿真器加载信道配置文件，定义 AP1 为良好信道情况下的起测点，AP2 为远端；
- c) 设定网络测试仪按照 10000pps 速率发送 256B 长度数据报文，持续发送；
- d) 调整信道模拟起 AP1 加载信道衰落至信道质量中间点配置，形成 AP1 到 STA 的信道质量变差情况，同步调整 AP2 到 STA 信道质量从信道质量中间点，形成 AP2 到 STA 的信道质量好差情况，观察 STA 是否产生切换行为，及观察记录切换过程导致的丢包数量；
- e) 恢复测试环境到初始情况；
- f) 重复步骤 b)~e)，共测试 10 次，取丢包数量平均值记录测试结果。

6.7 可靠性测试

测试目的，可靠性测试分类如下：

- a) 长时间运行可靠性（稳定性）；
- b) 异常数据报文对可靠性的影响；
- c) 无线信号的干扰影响的可靠性；
- d) 确定性（针对 wi-fi7）。

测试方法：

- a) 被测终端按图 1 连接，连续运行 3×24 小时，记录吞吐量，见 6.3 节；
- b) 给被测终端发送错误报文，记录其报错和重启的时间，见 6.4 节；
- c) 在加干扰源的情况下，测试 WLAN 工业终端的带宽、连接、覆盖等性能，见 6.3、6.4、6.5 节。

6.8 时延性能测试

测试目的:时延是主要测试在不影响工业应用时能容忍的最大传输时间，应满足应用可靠性的要求。

测试方法：测试环境由测试主机和被测对象WLAN工业终端设备组成，测试前宜先进行时钟同步，如图5所示，测试主机应根据工业应用场景选择有线接入或者WLAN网络接入方式，WLAN工业终端设备采用WLAN网络接入方式。时延测试分为WLAN网络时延测试和应用时延测试，其中：

- a) WLAN 网络时延测试是测试具有通信关系的终端设备从一端网络层到另一端网络层所需的时间；
- b) 应用时延测试是测试具有通信关系的终端设备从一端应用层到另一端应用层所需的时间。

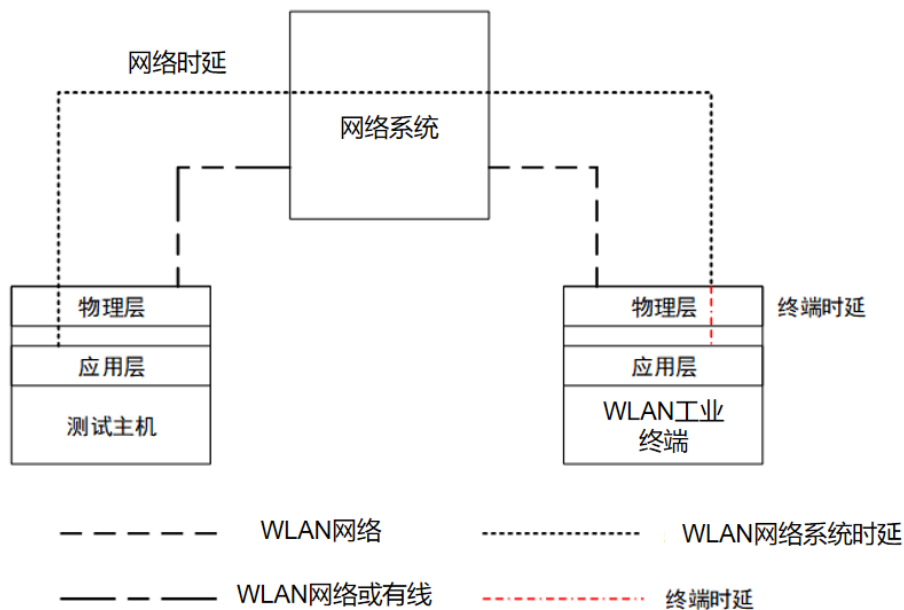


图4 WLAN 工业终端时延测试环境示意图

根据WLAN终端中通信性能指标配置测试主机发送数据包大小，采用Ping的方式进行测试；按照表3记录测试数据，统计最大、最小和平均传输时延。

注：ping包测试为环回，实际应用数据包的传输时延为环回时延除以2。

表3 WLAN 终端时延测试数据统计模版

序号	设备名称	设备标识	测试次数	数据包大小	最大时延	最小时延	平均时延	备注
1								
2								

测试结果：WLAN工业终端时延测试结果按照表4统计，其中，终端时延测试结果符合终端一致性声明为通过，其他情况为不通过。

表4 WLAN 工业终端时延测试结果模版

序号	设备名称	设备标识	一致性声明指标	终端时延测试结果	结论（P/F）	备注
1						
2						

7 工业典型场景性能测试用例

7.1 仓储场景性能测试

测试目的：测试多AP连续组网下方AGV小车漫游切换性能如图5,见T/WAA 011-2014；

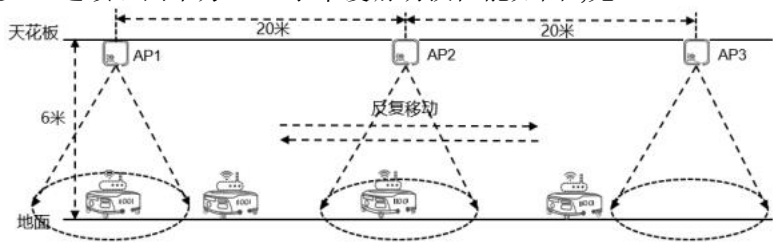


图5 仓储 AGV 业务场景示意图

预置条件：选择多AP测试平台，按照表4参数配置被测设备。
AP以及关联CPE设定参数：
——协议模式：IEEE802.11ax；
——工作频段：5GHz；
——带宽：20MHz；
——终端流数：2 流。

表5 测试步骤及预期结果

序号	执行步骤	预期结果
1	配置测试环境参数，30辆AGV小车连接专用的CPE终端并接入无线网络	如果关联成功则继续测试，否则用例不通过。
2	上位机指令控制让AGV小车以2米/秒的速度在AP间反复移动漫游，AGV每隔10ms上报状态和位置信息，测试5分钟，记录时延和丢包率	满足预期结果，否则用例不通过。

表6 数据记录表格：

序号	测试指标项	单位	测试结果记录
1	时延	ms	
2	丢包率	%	

7.2 生产车间 PLC 场景

7.2.1 概述

生产车间 PLC 场景，选取机械臂场景为测试评估场景，基本的场景如图 6。

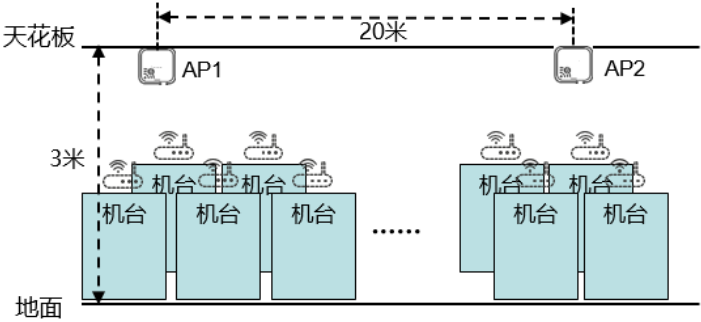


图6 生产车间 PLC 场景示意图

该场景下，无线AP吸顶安装，挂高3米，95%的区域RSSI $\geq$ -65dBm，5G频段20Mhz带宽组网场景下，主要业务类型：

PLC通过CPE接入单个AP，通过上位机下发控制指令（例如较大指令包1Gbps）到PLC。

7.3 PLC 场景性能测试

在PLC场景下，业务的KPI体验要求如表7。

表7 PLC 场景指标要求

序号	性能指标	指标值
1	指令时延(ms)	$\leq 20\text{ms}$
2	可靠性	99.99%@20ms

7.4 机器视觉场景性能测试

测试目的：测试单AP的视频直播业务接入容量，场景模型见图7。

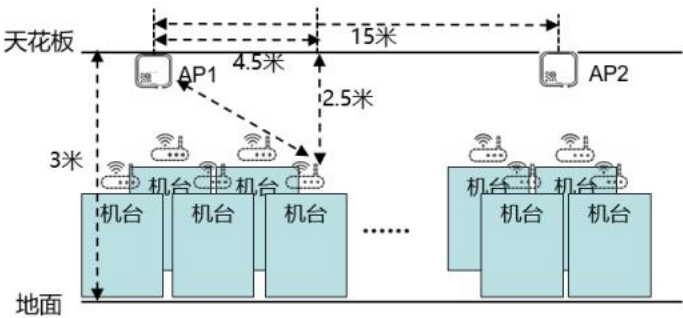


图7 工业 A0I 业务场景示意图

预置条件：选择多AP测试平台，按照表4参数配置被测设备。

AP以及关联CPE设定参数：

- 协议模式：IEEE 802.11ax；
- 工作频段：5GHz；
- 带宽：20MHz；
- 终端流数：2 流。

表8 测试步骤及预期结果

序号	执行步骤	预期结果
1	机台摄像头接入到AP网络，工业摄像头距离AP垂直距离2.5m，水平距离4.5m	如果关联成功则继续测试，否则用例不通过。
2	CPE向AP上行传输PCB高精度图片，测试5分钟，记录传输速率、平均时延、时延可靠性	指标均满足预期结果，否则用例不通过。
3	CPE向AP上行传输PCB低精度图片，测试5分钟，记录传输速率、平均时延、时延可靠性	指标均满足预期结果，否则用例不通过。

表9 数据记录表格

序号	测试指标项	单位	测试结果记录
1	传输场景一的传输速率	Mbps	
2	传输场景一的平均时延	ms	
3	传输场景一的时延可靠性	%	
4	传输场景二的传输速率	Mbps	
5	传输场景二的平均时延	ms	
6	传输场景二的时延可靠性	%	

7.5 电力行业场景（巡检机器人）性能测试

测试目的：测试巡检机器人在无线网络移动过程中性能指标，场景模型见图8

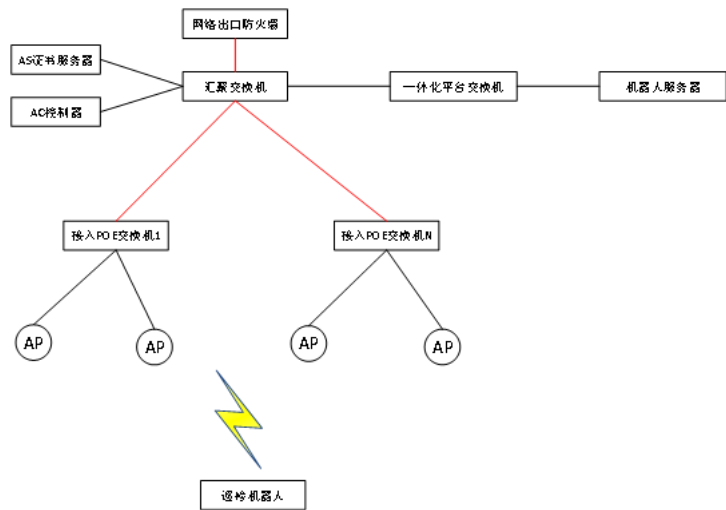


图8 巡检机器人接入 WLAN/WAPI 无线网络场景示意图

预置条件，AP以及关联CPE设定参数：

- 协议模式：IEEE 802.11ax；
- 工作频段：5GHz；
- 带宽：40MHz。

注：机器人巡检路线与AP间无明显遮挡物。

表10 测试步骤及预期结果

序号	执行步骤	预期结果
1	将巡检机器人推送至AP旁，巡检机器人连接WAPI网络	如果关联WAPI网络成功则继续测试，否则用例不通过。
2	巡检机器人开始巡检，车速0.6m/s移动作业，测试距离0-10米（场景一），在机器人后台服务器记录传输速率、平均时延、抖动	指标均满足预期结果，否则用例不通过。
3	巡检机器人开始巡检，车速0.6m/s移动作业，测试距离10-30米（场景二），在机器人后台服务器记录传输速率、平均时延、抖动	指标均满足预期结果，否则用例不通过。
4	巡检机器人开始巡检，车速0.6m/s移动作业，测试距离30-60米（场景三），在机器人后台服务器记录传输速率、平均时延、抖动	指标均满足预期结果，否则用例不通过。

表11 数据记录表格

序号	测试指标项	单位	测试结果记录
1	传输场景一的传输速率	Mbps	
2	传输场景一的平均时延	ms	
3	传输场景一的抖动	ms	
4	传输场景二的传输速率	Mbps	
5	传输场景二的平均时延	ms	
6	传输场景二的抖动	ms	
7	传输场景三的传输速率	Mbps	
8	传输场景三的平均时延	ms	
9	传输场景三的抖动	ms	

7.6 协同控制场景性能测试

协同性控制典型场景为某工件经节拍化流水线完成加工。如图9，工件半成品通过机械臂或传送带等传送装置实现机台间的搬运，传送装置与机台通过工业WLAN网络接入协同处理中心，协同处理中心集中调度传送装置与机台的。

为保证节拍化流水线协同控制的效率和稳定性，工业WLAN的终端设备需考虑如下指标要求：

- 指令时延；
- 指令丢包率。

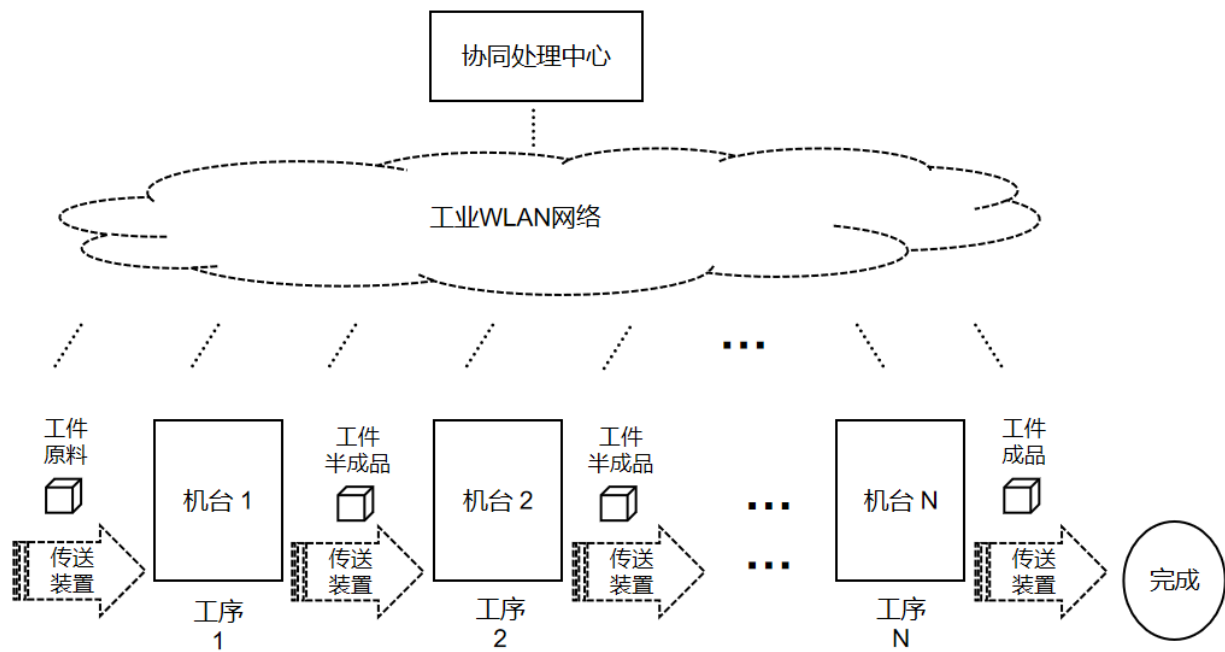


图9 协同控制场景示意图

协同控制场景指标要求，在协同控制场景下，业务的KPI体验要求如表12。

表12 协同控制场景性能要求

序号	性能指标	指标值
1	时延	≤1ms
2	指令丢包率	99.999%

注：Wi-Fi6目前性能达不到此协同控制场景要求。

附 录 A
(资料性)
常见障碍物信号衰减参考值

A.1 常见障碍物信号衰减参考值

常见障碍物信号衰减参考值如表A.1。

表A.1 常见障碍物信号衰减参考值

序号	典型障碍物	厚度(mm)	2.4GHz信号衰减 (dB)	5GHz信号衰减 (dB)
1	普通砖墙	120	10	20
2	加厚砖墙	240	15	25
3	混凝土	240	25	30
4	石棉	8	3	4
5	泡沫板	8	3	4
6	空心木	20	2	3
7	普通木门	40	3	4
8	实木门	40	10	15
9	普通玻璃	8	4	7
10	加厚玻璃	12	8	10
11	防弹玻璃	30	25	35
12	承重柱	500	25	30
13	卷帘门	10	15	20
14	钢板	80	30	35
15	电梯	80	30	35

附 录 B
(资料性)
常见工业应用时延要求

B.1 常见工业应用时延要求

常见工业应用时延要求如表B.1。

表B.1 常见工业应用时延要求

序号	典型工业应用	时延范围（循环周期）
1	高性能同步处理/电子传动等	1μs~100μs
2	机床/高速过程/机器人等	100μs~100ms
3	物料输送/简单控制/多数工厂自动化等	1ms~1s
4	过程自动化/仓储系统/楼宇控制等	100ms~10s