

# T/WAA

## 世界无线局域网应用发展联盟团体标准

T/WAA 009—2024

### WLAN 工业局端性能技术要求

WLAN Industrial Local Ends Performance Technical Requirements

2024 - 9 - 11发布

2024 - 9 - 11实施

## 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
3.1 场景 scene .....	4
3.2 工业 industry .....	4
3.3 基础性能 basic performance .....	4
3.4 业务性能 service performance .....	4
3.5 测试床 testbed .....	4
3.6 场景模型 scene model .....	4
3.7 时延 latency .....	5
3.8 丢包率 packet loss ratio .....	5
3.9 业务并发 concurrency .....	5
3.10 带宽 channel bandwidth .....	5
3.11 干扰 interference .....	5
4 缩略语 .....	5
5 工业场景 WLAN 局端性能要求概述 .....	6
5.1 工业场景 WLAN 承载的业务 KQI 概述 .....	6
5.2 工业场景 WLAN 局端设备基础性能要求测试环境概述 .....	6
5.3 工业场景 WLAN 网络典型业务性能要求概述 .....	6
6 工业场景 WLAN 局端关键性能指标 .....	6
6.1 带宽 .....	7
6.2 连接 .....	7
6.3 覆盖 .....	7
6.4 时延 .....	7
6.5 可靠 .....	8
6.6 安全 .....	8
6.6.1 安全特性和网络安全防护 .....	8
6.6.2 安全要求 .....	8
7 工业生产场景定义及体验要求 .....	8
7.1 仓储 AGV 业务性能要求 .....	8
7.1.1 仓储 AGV 业务场景模型概述 .....	9
7.1.2 仓储 AGV 业务性能要求 .....	9
7.2 仓储扫码枪业务性能要求 .....	9
7.2.1 仓储扫码枪业务场景模型概述 .....	9
7.2.2 仓储扫码枪业务性能要求 .....	10
7.3 工业 AOI 场景业务性能要求 .....	10
7.3.1 工业 AOI 业务场景模型概述 .....	10

7.3.2 工业 AOI 业务性能要求 .....	11
附录 A (资料性) 常见障碍物信号衰减参考值.....	12
A.1 常见障碍物信号衰减参考值 .....	12
参 考 文 献 .....	13

## 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：华为技术有限公司、机械工业仪器仪表综合技术经济研究所、中国信息通信研究院、中兴通讯股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、思博伦通信科技（北京）有限公司、烽火通信科技股份有限公司、灿芯技术（深圳）有限公司、中国质量认证中心、新华三技术有限公司、深圳市极致汇仪科技有限公司。

本文件主要起草人：吕茂、季晨荷、郑秋平、陈舒康、范大卫、王岩、罗桂兴、陈洁、马晓刚、陆国生、方明、李方健、张文君、雷根、樊智超。

# WLAN 工业局端性能技术要求

## 1 范围

本文件规定了工业设备无线局域网性能及体验的技术要求，本文件工业设备仅包括工业使用环境下的无线路由器。

本文件适用于工业无线路由器的设计、开发、生产及测试。

## 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。

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 场景 scene

本文中“场景”泛指系统和系统运行。系统包括终端、网络、无线传播环境、服务器、使用人等。系统运行包括子系统和部件在具体使用中的交互条件，包括各种影响网络性能和业务性能的要素，比如手机与无线路由器距离3m、用户参加视频会议等。

### 3.2 工业 industry

本文中“工业”泛指工业生产企业，包括制造业、化工业、能源行业、冶金行业等通过机器人化和自动化生产设备完成生产工作的企业。工业具有内部网络，使企业的各项业务在几乎不需要人干预的情况下运行，大大提高生产效率，使企业更快速、更经济地生产产品

### 3.3 基础性能 basic performance

网络使用者使用网络过程中，对网络性能的基础评估参数，例如带宽、接入终端连接能力、覆盖、时延等指标，大部分指标是对设备的要求，也有部分指标是组网要求，例如漫游能力。网络基础性能要求可以支撑业务性能要求的评估。

### 3.4 业务性能 service performance

从使用网络的应用出发，评估网络对多业务使用网络的性能参数。多业务明确使用网络的业务类型、业务数量以及各业务类型的占比，与典型组网模型，模拟贴近用户实际使用环境，评估网络对应用体验的支撑能力。性能要求包括人对交互式系统的体验（包括但不限于视频卡顿、语音延迟、操作延迟等），也包括机器与机器交互要求（比如工业领域机器人控制要求的处理延时）。

### 3.5 测试床 testbed

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。由终端、网络和无线传播环境等要素构成，用于模拟用户使用的网络环境，可以修改环境参数、网络参数和终端参数完成设备、网络、业务的性能测试的综合系统。

### 3.6 场景模型 scene model

为了模拟用户使用的网络环境，提出的终端、网络、无线传播环境等用户使用环境要素和设备要求的集合，用以配置测试床，构建性能测试的综合系统。不同的网络基础性能要求和业务性能要求可能使用不同的场景模型，以反应被测设备不同的实际使用环境。

### 3.7 时延 latency

针对不同业务网络需要保障的端到端时延。

### 3.8 丢包率 packet loss ratio

未发送成功报文个数占总报文个数的比例。

### 3.9 业务并发 concurrency

同一时间段内实际接入网络的用户同时使用网络或者业务。

### 3.10 带宽 channel bandwidth

不同频段20MHz、40MHz、80MHz、160MHz，应遵从使用国家频谱划分要求

注1：2.4GHz泛指设备使用国家允许无线局域网使用的2.4GHz频段频谱，每个国家规定可以使用的频谱不尽相同，设备需遵从使用国家对射频技术要求以及干扰规避技术要求（例如：中华人民共和国允许无线局域网使用的2.4GHz频段频率范围：2400MHz-2483.5MHz）

注2：5GHz泛指设备使用国家允许无线局域网使用的5GHz频段频谱，每个国家规定可以使用的频谱不尽相同，设备需遵从使用国家对射频技术要求以及干扰规避技术要求（例如：中华人民共和国允许无线局域网使用5GHz频段频率范围：5150MHz-5350MHz、5725MHz-5850MHz）

### 3.11 干扰 interference

由于一种或多种发射、辐射、感应或其组合所产生的无用能量对无线电通信系统的接收产生的影响，其表现为性能下降、误解、或信息丢失，若不存在这种无用能量，则此后果可以避免。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AC: 接入控制器 (Access Controller)

AMSDU: MAC业务数据单元聚合 (Aggregate MAC Service Data Unit)

AMPDU: MAC协议数据单元聚合 (Aggregate MAC Protocol Data Unit)

AP: 接入点 (Access Point)

APP: 应用 (Application), 泛指各种操作系统调用网络服务接口的应用程序

APUT: 测试接入点 (Access Point under Test)

CPE: 客户终端设备 (Customer-Premises Equipment)

DUT: 被测设备 (Device under Test)

KPI: 关键性能指标 (Key Performance Indicator)

KQI: 关键质量指标 (Key Quality Indicator)

MCS: 调制和编码方案 (Modulation and Coding Scheme)

OWD: 单项时延 (One-Way Delay)

RTT: 往返路程时间 (Round Trip Time)

RU: 远程射频单元 (Remote Unit)

RX: 接收 (Receive)

TCP: 传输控制协议 (Transmission Control Protocol)

TP99: 百分之99 (Top 99 percentile)

TX: 发送 (Transmit)

TXBF: 传输波束成形 (Transmit Beamforming)

UDP: 用户数据报协议 (User Datagram Protocol)

WLAN: 无线局域网 (Wireless Local Area Network)

WPA：高保真网络安全保护接入系统（Wi-Fi Protected Access）

## 5.5 工业场景 WLAN 局端性能要求概述

### 5.1 工业场景 WLAN 承载的业务 KQI 概述

工业WLAN网络覆盖场景主要包含生产车间和仓储，主要包括AGV小车、扫码枪、PLC、数据回传、AR/VR辅助、通用设备程序加载、机器视觉、分拣小车等业务场景，见图1。

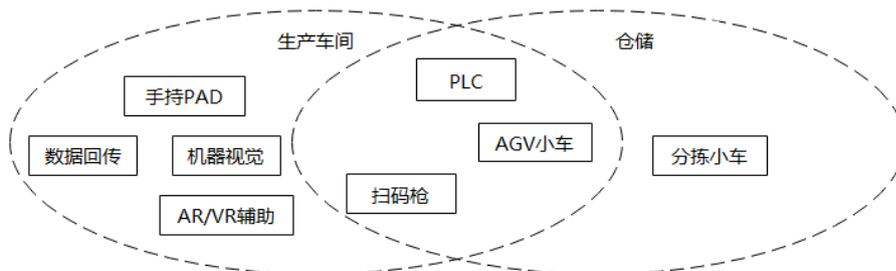


图1 工业生产网络承载的业务类型

从以上工业网络的具体业务和性能参数梳理，影响业务KQI的网络要素主要包括如下几个指标：

- 满足业务需要的最小带宽；
- 满足业务需要的最小时延和时延抖动
- 满足业务需要的最大丢包率；

### 5.2 工业场景 WLAN 局端设备基础性能要求测试环境概述

工业场景中，局端设备性能是构成网络服务的基础。对有经验的网络专家，可以根据网络设备性能判断某个网络是否具备承载单个业务或多个业务组合的能力。本文件采用带宽、连接、覆盖、时延、可靠及安全作为保障WLAN业务体验的六项通用网络性能参数，作为设备的基础要求，同时也作为专家评定设备业务承载能力的参考，具体见图2。

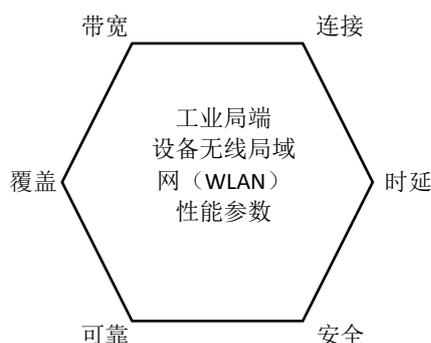


图2 工业生产网络基础性能参数

### 5.3 工业场景 WLAN 网络典型业务性能要求概述

网络用户可能不了解网络通过那些技术提供网络服务，对网络如何提供服务本文件明确了业务典型使用场景，通过构造工业生产典型业务场景模型，评估工业局端设备在多业务综合使用中网络的带宽、时延、时延抖动和丢包率参数。

## 6 工业场景 WLAN 局端关键性能指标

## 6.1 带宽

带宽指标是指单用户使用WLAN网络时能获取的最大吞吐量指标，在工业场景下，带宽指标直接影响了设备程序加载、数据回传、机器视觉、AR/VR辅助等带宽要求高的业务的体验。WLAN设备接口的带宽参数主要是测量WLAN设备接口的最大吞吐量。

## 6.2 连接

连接指标是指多用户使用WLAN网络时能获取的业务并发能力，在工业场景下，不同终端承载不同流量的业务，基于公式（1），当实际终端的业务流量增大时，空口的利用率随之增大，竞争冲突加剧，业务体验变差，此处使用多用户并发吞吐量来衡量无线AP在多用户并发业务时的业务调度能力。WLAN占空比理论模型如公式（1）：

$$\text{Duty Cycle (占空比)} = \frac{\sum_{n=1}^n T_{\text{nr}}}{N_{\text{SS}} * (N_{\text{CBPS}} * R) * (1 / (T_{\text{S}} + T_{\text{GI}}))} \quad (1)$$

式中：

NSS ——空间流数；

NCBPS ——每个OFDM symbol中的总编码；

R ——码率；

TGI ——GI长度；

TS ——symbol（快速傅立叶反变换（IFFT））长度；

Tnr ——终端实际速率。

针对单设备场景，WLAN接口的连接指标主要是测量WLAN接口的业务并发吞吐量。

## 6.3 覆盖

覆盖指标是指用户使用WLAN网络时可以接收到的信号可覆盖区域，在工业场景下，WLAN信号随着距离的拉远或墙体的遮挡而衰减，用户获取到的吞吐量也随之降低。WLAN设备接口的带宽参数主要是测量WLAN接口的远距离最大下行吞吐量。

## 6.4 时延

时延参数是指分布式应用之间通过网络传输数据所需要的时间，主要包括发送时延、传播时延、排队时延和处理时延。工业场景下的WLAN时延参数，主要场景是用户在使用分拣、AGV、扫码枪等实时性要求较强的业务时，对WLAN网络时延要求较高。

传统时延测量中，主要包含两种时延参数，一种是往返路程时延(RTT)，另外一种是单向时延(OWD)。以下是它们的时序示意：

a) RTT（往返时延）：如图3所示

1) RTT是指从发送方发送数据包到接收方，并接收到接收方的确认消息所经过的总时间。

1) 计算RTT时，通常包括链路的传播时间、末端系统的处理时间以及路由器等中间节点的缓存和排队时间。

b) OWD（单向时延）：如图4所示

1) OWD是指数据包从发送方到接收方所需的时间，仅计算单程。

1) OWD通常受网络链路性能、网络拥堵情况以及交换机层的缓存和队列等因素影响。



RTT时延示意图

图3 RTT 时延示意图



图4 OWD 时延示意图

不同时延参数应用于不同业务类型，对于 TCP 业务交互的时延，一般使用往 RTT 来评估，对于 UDP 业务交互的时延，一般使用 OWD 评估。为了准确测量 WLAN 接口的时延，在纯 WLAN 链路上，使用单向时延（OWD），此部分时延去除了协议栈的处理时延，更能准确测量出 WLAN 链路层对时延的影响。另外，针对常见的业务，存在上下行交互的场景，使用双向时延（RTT）时延进行度量，可以反应用户感知到的业务体验快慢。

## 6.5 可靠

工业生产场景下 WLAN 接口的可靠性主要体现在信号稳定性、连接稳定性、时延稳定性上，而影响 WLAN 稳定性的因素有很多，包含空口信道的波动、空口环境干扰的变化、网络设备软硬件系统的健壮性等。可靠性测试是在考虑上述可靠性情况和时间维度的基础上，评估设备的可靠性能力。

针对单设备场景，WLAN 接口的可靠指标主要是测量 WLAN 接口在干扰条件下业务长时间叠加运行的稳定性。

## 6.6 安全

### 6.6.1 安全特性和网络安全防护

WLAN 网络中的终端设备时刻面临来自网络的攻击威胁。为抵御网络攻击，网络设备构建的安全机制分为接入安全与系统安全。本规范仅对工业生产网络设备接入安全提出要求，接入安全如下：

当前工业生产网络支持的用户接入身份认证及数据加密有如下几种：

- a) 支持有线等效保密（WEP）认证/加密
- b) 支持终端配置混合加密，例如：Wi-Fi 保护访问（WPA）系列+802.1X 认证/加密方式。  
注，WPA 见参考文件[1]
- c) 支持无线局域网鉴别和保密基础结构（WAPI）认证/加密方式  
注，WAPI 见参考文献[2]
- d) 支持门户（PORTAL）认证（即 WEB 认证）

### 6.6.2 安全要求

AP 支持安全技术要求如表 1 所示：

表1 安全接入要求

认证方式	是否必选
WPA	是
WPA2	是
WPA3	是
WAPI	否
Portal	是

## 7 工业生产场景定义及体验要求

### 7.1 仓储 AGV 业务性能要求

### 7.1.1 仓储 AGV 业务场景模型概述

AGV在工业生产场景中有着广泛的应用，主要用于物料的运输，具有高度的智能化和自动化，便于工作人员进行调度和管理，能够提高整个系统的灵活性和生产效率。AGV运输系统模型主要分为线路模型和调度模型，选取线路模型作为测试评估场景。仓储AGV业务场景模型参考图3，AP吸顶安装，挂高3~12米，AP间隔20~25米，95%的区域接收信号强度指示（RSSI） $\geq -65\text{dBm}$ ，5G频段+20MHz带宽组网场景下，主要业务类型：

- 30 辆 AGV 均匀分布在 AP 覆盖范围内，以 2m/s 的速度在 AP 间反复移动；
- AGV 移动过程中扫地面二维码向上位系统反馈状态和位置信息，上报周期 10ms，报文长度 100 字节左右；

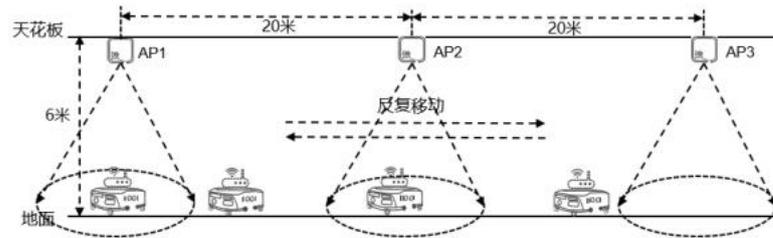


图5 仓储 AGV 业务场景示意图

### 7.1.2 仓储 AGV 业务性能要求

仓储AGV业务场景模型（见7.1.1），该场景模型下的KPI体验要求见表2：

表2 仓储 AGV 业务性能要求

网络要求	业务要求	参数项	参数
协议模式：IEEE802.11ax 工作频段：5GHz 带宽：20MHz 终端流数：2流	三个AP配置为不同信道，间距20m，30辆AGV小车连接专用的CPE终端并接入无线网络，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	时延	$\leq 50\text{ms}@99\%$
		丢包率	$\leq 0.01\%$

## 7.2 仓储扫码枪业务性能要求

### 7.2.1 仓储扫码强业务场景模型概述

扫描枪在工业生产场景中是一种常见的特殊终端，主要用于仓库内物品扫描，实现入库出库等操作。扫描枪场景，所需要流量不高、对时延相对不敏感。

典型的仓储场景布置如图4：AP吸顶安装，挂高3~12米，AP间隔20~25米，95%的区域接收信号强度指示（RSSI） $\geq -65\text{dBm}$ ，5G频段+20MHz带宽组网场景下，扫码枪可以在仓库任意点位完成物品扫描出库和入库操作，扫码枪业务吞吐最高约0.512Mbps。

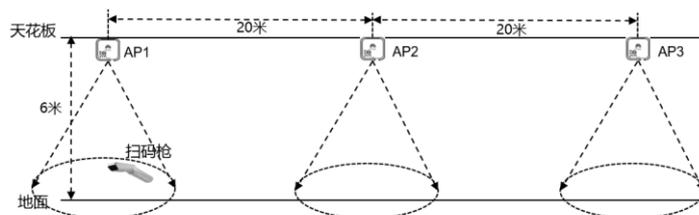


图6 仓储扫码枪业务场景示意图

## 7.2.2 仓储扫码枪业务性能要求

仓储扫码枪业务场景模型下的KPI体验要求见表3:

表3 仓储扫码枪业务性能要求

网络要求	业务要求	参数项	参数
协议模式: IEEE802.11ax 工作频段: 5GHz 带宽: 20MHz 终端流数: 2流	三个AP配置为不同信道, 间距20m, 扫码枪在每个AP覆盖范围下测试仓库内物品扫描。包含每个AP的中心位置和边缘位置。	时延	$\leq 50\text{ms}@99\%$
		丢包率	$\leq 0.01\%$

## 7.3 工业 AOI 场景业务性能要求

### 7.3.1 工业 AOI 业务场景模型概述

AOI (Automated Optical Inspection缩写) 的中文全称是自动光学检测, 是一种新型测试技术, 通过摄像头自动扫描PCB等, 经过服务器图像处理, 检查出PCB上缺陷, 能帮助工厂检查PCB焊接缺陷、提升生产水平。

工业场景AOI业务模型如图7, AP吸顶安装, 挂高3~6米, AP间隔15~20米, 95%的区域接收信号强度指示 (RSSI)  $\geq -65\text{dBm}$ , 5G频段+40Mhz带宽组网场景下, 主要业务类型从业务流模型上可以分为两类, 一个是本地分析处理, 一个云端分析处理。

本地处理场景下, AOI设备拍完保护膜, logo, 标签, 点胶等照片后, 把图片通过有线网络传到本地服务器上, 分析处理完以后把照片进行压缩处理上传服务器备份保存 (服务于质量回溯需求)。具体流程如图8所示。根据不同业务类型, 所需照片精度存在差异。

a) 高精度场景: 工业场景下, 层高约3米左右, AP正常悬挂, CPE设备垂直距离约2.3~2.8m。CPE通过有线连接工厂设备。AP和本AP覆盖范围内最远的CPE, 水平距离大约4.5m, 垂直距离大约2.5m。AOI扫描PCB后, CPE传输PCB图片给AP。此时, CPE和AP传输的PCB板需要满足2s传输200M, 带宽需求达到800Mbps。

b) 低精度场景: 工业场景下, 层高约3米左右, AP正常悬挂, CPE设备垂直距离约2.3~2.8m。CPE通过有线连接工厂设备。一个AP覆盖一个区域机台工作。AP和本AP覆盖范围内最远的CPE, 水平距离大约4.5m, 垂直距离大约2.5m。AOI扫描非PCB低精度物品后, CPE传输PCB图片给AP。此时, CPE和AP传输需要满足2s传输20M, 带宽需求达到80Mbps。

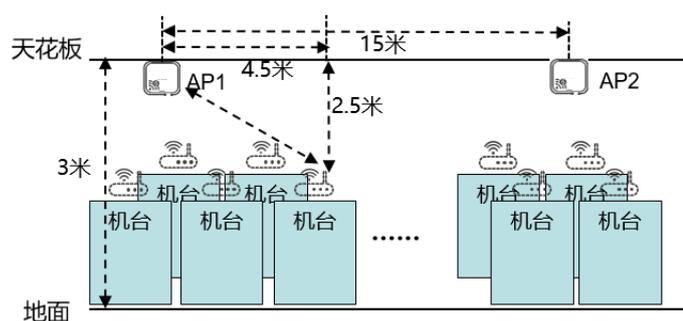


图7 工业 AOI 业务场景示意图

云端处理场景下, AOI设备拍完照片以后把图片传到云端的处理服务器上, 分析处理完以后如果图片没问题返回确定报文, 如果图片有问题, 返回带错误标识的图片到本地并进行下一步操作。具体流程如图8所示。云端处理场景下, 所需要带宽超过WiFi物理极限, 暂不考虑。

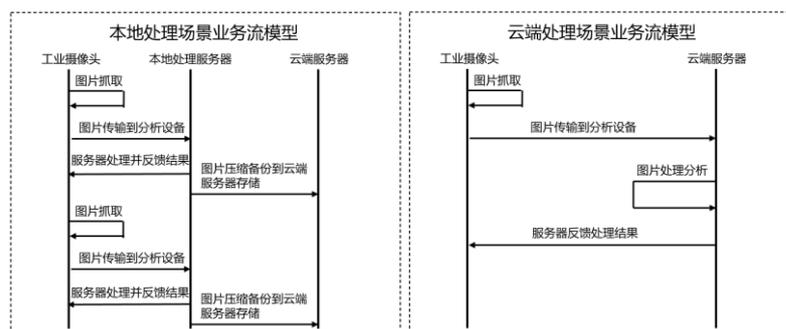


图8 工业 AOI 业务交互示意图

## 7.3.2 工业 AOI 业务性能要求

工业AOI业务模型如图7所示，其中传输图片能力要求如下：

网络要求	业务要求	参数项	参数
协议模式：IEEE802.11ax 工作频段：5GHz 带宽：20MHz 终端流数：2流	工业摄像头采集图片后送到本地服务器进行处理。工业摄像头距离AP垂直距离2.5m，水平距离4.5m，CPE向AP上行传输PCB高精度图片。	速率	≥800Mbps
		可靠性	≥99.99%
		时延	<2s
协议模式：IEEE802.11ax 工作频段：5GHz 带宽：20MHz 终端流数：2流	工业摄像头采集图片后送到本地服务器进行处理。工业摄像头距离AP垂直距离2.5m，水平距离4.5m，CPE向AP上行传输低精度图片。	速率	≥80Mbps
		可靠性	≥99.99%
		时延	<2s

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

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

### 参 考 文 献

- [1] Wi-Fi Alliance WPA3™ Specification Version 3.1  
[2] GB 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
-