

ICS 25.040.30

CCS J 28



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

智能巡检机器人自主导航与避障系统 技术要求

Technical requirements for autonomous navigation and obstacle avoidance
system of intelligent inspection robot

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 |
| 4 系统组成与架构 | 1 |
| 4.1 一般组成 | 1 |
| 4.2 系统架构 | 2 |
| 5 技术要求 | 2 |
| 5.1 功能要求 | 2 |
| 5.2 性能指标要求 | 2 |
| 5.3 安全要求 | 3 |
| 5.4 感知与传感器要求 | 3 |
| 5.5 软件与通信要求 | 3 |
| 5.6 环境适应性要求 | 3 |
| 6 试验方法 | 3 |
| 6.1 试验环境 | 3 |
| 6.2 功能试验 | 3 |
| 6.3 性能指标试验 | 4 |
| 6.4 安全试验 | 4 |
| 6.5 感知与传感器试验 | 4 |
| 6.6 软件与通信试验 | 4 |
| 6.7 环境适应性试验 | 5 |

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。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

智能巡检机器人自主导航与避障系统技术要求

1 范围

本文件规定了智能巡检机器人自主导航与避障系统的系统组成与架构、技术要求、试验方法。本文件适用于智能巡检机器人的自主导航与避障系统的设计、生产与检测。

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 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求
GB 11291.2 机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求 第2部分：机器人系统与集成
GB/T 12643 机器人 词汇
GB/T 32907 信息安全技术 SM4分组密码算法
GB/T 38834.2 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第2部分：导航
GB/T 39786 信息安全技术 信息系统密码应用基本要求
GB/T 44253 巡检机器人安全要求

3 术语和定义

GB/T 12643、GB/T 38834.2界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态避障 dynamic obstacle avoidance

机器人在移动过程中，实时检测并识别动态或静态障碍物，通过路径调整或减速制动实现无碰撞通行的能力。

3.2

避障响应时间 obstacle avoidance response time

从系统检测到障碍物存在，到控制系统输出避障动作指令之间的时间间隔。

4 系统组成与架构

4.1 一般组成

自主导航与避障系统主要由感知模块、导航决策模块、避障控制模块以及通信接口模块组成：

- a) 感知模块：包括激光雷达、视觉传感器、毫米波雷达、IMU、里程计、超声波传感器等；
- b) 导航决策模块：承担定位解算、地图构建、全局路径规划等功能；
- c) 避障控制模块：负责障碍物检测、动态预测、局部路径调整与安全制动；

d) 通信接口模块：用于实现与机器人底盘、上位机及云端的数据交互。

4.2 系统架构

系统采用感知融合—定位解算—地图更新—全局路径规划—局部动态避障—底盘执行的闭环控制架构，具备SLAM建图、多源融合定位、全局路径规划、局部动态避障、故障安全降级等能力。

5 技术要求

5.1 功能要求

5.1.1 地图构建功能

系统应支持2D/3D栅格地图与点云地图构建，能够在室内外结构化与半结构化环境中完成地图采集与更新。

5.1.2 自主定位功能

系统应具备多传感器融合定位能力，能够在无GNSS、弱纹理、多干扰环境下实现稳定定位。

5.1.3 路径规划功能

系统应支持全局路径规划与局部路径优化，能够根据任务目标、场地约束与障碍物分布自动生成可行路径。

5.1.4 动态避障功能

系统应能够识别静态障碍物与动态障碍物，通过减速、绕行、停车等方式实现安全避障。

5.1.5 故障安全功能

当传感器、定位、通信或执行机构出现异常时，系统应能进入安全状态，包括减速、限幅或紧急停机。

5.1.6 状态报警功能

系统应能对定位失效、障碍物逼近、传感器故障、通信中断等异常状态进行实时报警与状态上传。

5.2 性能指标要求

5.2.1 导航性能指标

系统的导航性能应符合表1的规定。

表1 自主导航性能指标

| 指标 | 要求 |
|----------------|------------------------|
| 室内绝对定位精度 | $\leq \pm 20\text{mm}$ |
| 室外 GNSS 辅助定位精度 | $\leq \pm 50\text{mm}$ |
| 航向角精度 | $\leq \pm 0.5^\circ$ |
| 重复定位精度 | $\leq \pm 10\text{mm}$ |
| 重定位时间 | $\leq 3\text{s}$ |
| 重定位成功率 | $\geq 99\%$ |

5.2.2 避障性能指标

系统的避障性能应符合表2的规定。

表2 避障性能指标

| 指标 | 要求 |
|-----------------|---|
| 障碍物最小检测尺寸 | $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 50\text{mm}$ |
| 避障响应时间 | $\leq 200\text{ms}$ |
| 静态安全停障距离 | $50\text{mm} \sim 200\text{mm}$ |
| 动态避障成功率 | $\geq 99.5\%$ |
| 紧急制动距离 (1.0m/s) | $\leq 50\text{mm}$ |
| 急停响应时间 | $\leq 100\text{ms}$ |

5.2.3 运动控制性能

系统应支持连续稳定行驶，路径跟踪误差应控制在允许范围内，具备原地转向或小半径转向能力，最大行驶速度可在0~1.5 m/s内配置。

5.3 安全要求

5.3.1 电气安全

电气安全应符合GB/T 5226.1的相关要求，供电电压应在额定范围内稳定工作，具备过压、欠压、过流、短路保护功能。

5.3.2 安全功能

应符合GB 11291.2、GB/T 44253的要求，系统应设置多级安全机制，包括预警减速、避障绕行、紧急制动。

5.4 感知与传感器要求

5.4.1 激光雷达

激光雷达应满足测距范围0.1m~20m，测距精度±3 cm，角分辨率≤0.2°，采样频率≥10Hz，激光安全等级应达到一类激光（GB/T 7247.1）。

5.4.2 视觉传感器

视觉传感器应具备不低于1920×1080分辨率，帧率不低于25fps，适应0.1lux~100000lux的光照环境。

5.4.3 毫米波雷达

毫米波雷达探测距离应覆盖0.5m~30m，响应时间不大于50ms，可辅助完成动态障碍物检测与测距。

5.4.4 多传感器融合

系统应采用多源信息融合策略，融合频率不低于50Hz，在单一传感器受干扰时仍能维持基本导航与避障能力。

5.5 软件与通信要求

5.5.1 软件功能

导航与避障软件应具备模块化架构，支持地图加载、参数配置、任务调度、状态监控、日志记录与故障诊断功能。

5.5.2 实时性要求

系统控制延迟应不大于100ms，路径更新频率不低于10Hz。

5.5.3 通信要求

系统支持以太网、Wi-Fi、4G/5G等通信方式，通信中断后恢复时间应不大于10s，数据传输可靠、丢包率应不大于0.1%。

5.5.4 数据安全

系统关键数据传输应采用AES-256加密算法，数据存储应采用SM4加密存储。

5.6 环境适应性要求

系统应能在规定的环境条件下可靠工作，其中：

- a) 工作温度为-20℃~+60℃；
- b) 存储温度为-40℃~+85℃；
- c) 相对湿度为5%~95%（无凝露）；
- d) 防护等级应不低于IP54，户外或多尘、潮湿环境应不低于IP65。

6 试验方法

6.1 试验环境

试验应在标准环境条件下进行，温度23℃±5℃，湿度45%~75%，大气压86kPa~106kPa。

6.2 功能试验

6.2.1 地图构建功能试验

在室内外结构化及半结构化场地，启动地图构建，机器人沿场地行驶一周，通过上位机查看是否生成2D/3D栅格地图、点云地图；改变局部环境后启动更新，查看地图是否准确更新。

6.2.2 自主定位功能试验

应按照GB/T 38834.2的规定进行。

6.2.3 路径规划功能试验

应按照GB/T 38834.2的规定进行。

6.2.4 动态避障功能试验

应按照GB/T 38834.2的规定进行。

6.2.5 故障安全功能试验

分别模拟传感器断开、定位失效、通信中断、执行异常，目视观察系统是否进入减速、限幅或紧急停机。

6.2.6 状态报警功能试验

模拟各类异常，查看上位机/本地提示是否实时报警并上传状态。

6.3 性能指标试验

6.3.1 导航性能试验

应按照以下方法进行：

- a) 室内绝对定位精度：采用激光跟踪仪或高精度坐标基准，测量机器人停靠位置与基准坐标偏差；
- b) 室外GNSS辅助定位精度：采用GNSS RTK基准站，比对系统定位与真值偏差；
- c) 航向角精度：采用电子倾角仪/高精度转台，测量航向输出偏差；
- d) 重复定位精度：采用激光跟踪仪或标尺，测量多次停靠位置偏差；
- e) 重定位时间：采用秒表/数据记录仪，记录从失位到稳定定位的时间；
- f) 重定位成功率：多次试验，统计成功次数占比。

6.3.2 避障性能测试

应按照GB/T 38834.2的规定进行。

6.3.3 运动控制性能试验

应按照以下方法进行：

- a) 机器人沿预设路径行驶，目视+轨迹记录软件检查行驶稳定性、路径跟踪误差；
- b) 目视检查原地转向/小半径转向能力；
- c) 在0~1.5m/s内设置多档速度，查看界面速度配置是否有效。

6.4 安全试验

6.4.1 电气安全试验

应按照按GB/T 5226.1的规定，采用可调电源、负载、短路装置，检验供电稳定性及过压、欠压、过流、短路保护功能。

6.4.2 安全功能试验

逐步模拟障碍物逼近、无法绕行，目视观察预警减速、避障绕行、紧急制动动作是否依次执行。

6.5 感知与传感器试验

6.5.1 激光雷达试验

应按照GB/T 7247.1的规定，采用标准测距靶板、测距仪、角度校准装置，测试测距范围、精度、角分辨率、采样频率及激光安全等级。

6.5.2 视觉传感器试验

采用可调光照度箱、照度计，在0.1lux~100000lux环境下，查看图像分辨率、帧率与清晰度。

6.5.3 毫米波雷达试验

采用移动目标/标准反射体，在0.5m~30m内测试探测距离，用毫秒计时器测响应时间。

6.5.4 多传感器融合试验

用数据记录仪读取融合频率；遮挡任一传感器，观察定位与避障是否基本正常。

6.6 软件与通信试验

6.6.1 软件功能试验

逐项操作软件，目视检查地图加载、参数配置、任务调度、状态监控、日志记录、故障诊断功能。

6.6.2 实时性试验

采用示波器或数据记录仪测试控制延迟；通过日志统计路径更新频率。

6.6.3 通信试验

分别接入以太网、Wi-Fi、4G/5G，连续运行30min，通过数据抓包工具/通信统计模块统计总帧数与丢失帧数，计算丢包率；人工断开链路10s后恢复，用秒表/时间戳记录中断恢复时间。

6.6.4 数据安全试验

应按照GB/T 39786、GB/T 32907的规定，采用密码算法验证工具、抓包工具检查AES-256传输加密、SM4存储加密有效性。

6.7 环境适应性试验

应按照GB/T 2423.1、GB/T 2423.2、GB/T 2423.3的规定进行高低温、恒定湿热试验，按照GB/T 4208的规定进行防护等级试验。
