

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号



团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

地面自主移动机器人导航性能通用规范

General specification for navigation performance of Ground autonomous mobile robots

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

发 布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 缩略语 4

5 产品分类 4

6 功能要求 4

7 导航性能要求 5

8 试验方法 7

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。

本文件由中国互联网协会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

地面自主移动机器人导航性能通用规范

1 范围

本文件规定了地面自主移动机器人的产品分类和基本要求、导航性能要求、试验方法。
本文件适用于地面自主移动机器人导航性能的要求、测试及评价。

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 12643—2025 机器人 词汇

GB/T 17799.1 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度

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

GB/T 30030—2023 自动导引车 术语

GB/T 38834.2—2023 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第2部分：导航

3 术语和定义

GB/T 12643—2025、GB/T 38834.2、GB/T 30030—2023界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地面自主移动机器人 ground autonomous mobile robot (AMR)

具有一定自主能力，能够在地面环境中移动，并基于当前状态和感知信息，无人干预地执行预期移动、定位、导航或作业任务的机器人。

3.2

导航 navigation

包括路径规划、定位（3.3）、绘制地图和提供行进方向的过程。

注：导航能包括为实现从位姿点到位姿点的运动和整片区域覆盖的路径规划。

[来源：GB/T 12643—2025，8.6]

3.3

定位 localization

在环境地图上识别或分辨移动机器人的位姿。

[来源：GB/T 12643—2025，8.2]

3.4

位姿 pose

空间位置和姿态的合称。

注：移动机器人的位姿包括绝对坐标系下的移动平台和装于其上的任一操作机的位姿组合。

[来源：GB/T 12643—2025，5.5，有修改]

3.5

位姿准确度 pose accuracy

单方向位姿准确度 unidirectional pose accuracy

从同一方向趋近指令位姿时，指令位姿和实到位姿均值间的差值。

[来源：GB/T 12643—2025，7.5]

3.6

位姿重复性 pose repeatability

单方向位姿重复性 unidirectional pose repeatability

从同一方向重复同一指令位姿时，实到位姿之间的一致程度。

[来源：GB/T 12643—2025，7.6]

3.7

导航精度 navigation accuracy

机器人运行时，实际轨迹与理论轨迹的偏差值。

[来源：GB/T 30030—2023，3.4.5，有修改]

3.8

建图精度 mapping accuracy

机器人构建的环境地图与实际环境之间的几何一致性误差。

3.9

重复定位精度 repeatability

机器人从同一方向重复多次定位，实际位置与理论位置的偏差值。

注：采用标准差计算方法对测量结果进行处理。

[来源：GB/T 30030—2023，3.4.8，有修改]

3.10

重定位 relocalization

机器人在位姿丢失后，在已建地图中重新确定自身位姿的过程。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AMR：自主移动机器人（Autonomous Mobile Robot）

LiDAR：激光雷达（Light Detection and Ranging）

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

IMU：惯性测量单元（Inertial Measurement Unit）

RMS：均方根误差（Root Mean Square Error）

5 产品分类

5.1 按导航方式分为：

- 激光导航型；
- 视觉导航型；
- 多源融合导航型。

5.2 按运行速度分为：

- 低速型： $v \leq 0.5$ m/s；
- 中速型： $v \leq 1.5$ m/s；
- 高速型： $v > 1.5$ m/s。

5.3 按负载等级分为：

- 轻载： ≤ 50 kg；
- 中载： ≤ 500 kg；
- 重载： > 500 kg。

5.4 按应用场景分为：

- 工业型；
- 商用服务型。

6 功能要求

6.1 基本功能

导航系统应支持全局定位、实时建图、动态路径规划、主动避障、异常告警、故障降级运行。

6.2 场景支持

根据产品标称应用场景，导航系统宜支持室内、室外或室内外融合导航；当产品标称支持室内外运行时，应具备室内外场景切换能力。

7 导航性能要求

7.1 环境感知要求

7.1.1 传感器配置

自主移动机器人的传感器配置应满足导航与避障需求，至少包括以下类型之一或组合：

- a) LiDAR：
 - 1) 扫描频率 ≥ 15 Hz，
 - 2) 测距范围 ≥ 20 m。
- b) 视觉传感器：
 - 1) 分辨率 $\geq 1080p$ ；
 - 2) 帧率 ≥ 30 fps。
- c) IMU：加速度计和陀螺仪，更新频率 ≥ 100 Hz。

7.1.2 感知鲁棒性

应符合满足下列要求：

- 在正常光照变化范围 $5\text{ lx} \sim 100\ 000\text{ lx}$ ，导航性能保持稳定；
- 在反光地面、玻璃墙、弱纹理环境等场景下，导航不失效；
- 多源融合导航系统的，单一传感器失效时能降级运行。

7.2 定位与位姿性能

在额定负载、额定速度、标准环境下，定位与位姿性能应符合表1要求。

表 1 定位与位姿性能要求

导航方式	室内位姿准确度 (RMS) mm	室内位姿重复性 mm	室外位姿准确度 (RMS) mm	室外位姿重复性 mm
激光导航型	± 10	± 5	± 30	± 15
视觉导航型	± 20	± 10	± 80	± 40
多源融合导航型	± 5	± 3	± 20	± 10

7.3 建图精度

自主移动机器人进行环境地图构建时，应自动过滤动态物体，动态物体占比 $\leq 30\%$ 时建图不失效。建图精度应符合表2的要求。

表 2 建图精度要求

建图面积 m^2	静态几何误差 mm	动态几何误差 mm	角度误差	单位面积建图时间 s/m^2
≤ 500	$\leq 1\%$ 或 ± 50	$\leq 2\%$ 或 ± 100	$\leq 1^\circ$	≤ 0.5
$500 \sim 2000$	$\leq 1.5\%$ 或 ± 100	$\leq 3\%$ 或 ± 200	$\leq 1.5^\circ$	≤ 0.3
≥ 2000	$\leq 2\%$ 或 ± 200	$\leq 4\%$ 或 ± 300	$\leq 2^\circ$	≤ 0.2

7.4 导航精度

额定速度下导航精度应符合表3要求。

表 3 导航精度要求

速度等级 m/s	直线最大横向偏移 mm	圆弧最大径向偏移 mm
低速型 ≤ 0.5	± 20	± 25
中速型 ≤ 1.5	± 30	± 35
高速型 ≥ 1.5	± 50	± 60

7.5 重定位性能

自主移动机器人应在位姿丢失后具备自动重定位能力，重定位时间应符合以下要求：

- 已知地图场景下，重定位时间 ≤ 2 s，重定位成功率 $\geq 99\%$ ；
- 每平方米不低于 5 个特征的丰富场景下，重定位时间 ≤ 15 s，重定位成功率 $\geq 99\%$ ；
- 每平方米不超过 1 个特征的稀疏场景下，重定位时间 ≤ 10 s，重定位成功率 $\geq 90\%$ ；
- 断电重启后，3 s 内恢复位姿。

7.6 导航控制要求

7.6.1 路径规划

应符合下列要求：

- 机器人应具备全局路径规划和局部路径规划能力；
- 规划路径应满足平滑性要求，曲率连续，避免急转弯；
- 在动态障碍物出现时，应能在 500 ms 内完成局部路径重规划。

7.6.2 速度控制

应符合下列要求：

- 机器人应在额定速度范围内实现无级调速；
- 加减速速度应在产品标称范围内，确保运动平稳性；
- 速度控制误差应不超过设定速度的 $\pm 5\%$ 。

7.7 避障与安全要求

7.7.1 障碍物检测

应符合下列要求：

- 机器人应配备不少于两种类型的避障传感器（如激光雷达、深度相机、超声传感器等）；
- 检测范围应覆盖机器人前方、侧方及必要的后方区域；
- 能够检测 ≥ 20 mm（高） $\times 20$ mm（宽）障碍物；
- 人体检测准确率 $\geq 99.9\%$ 。

7.7.2 避障响应

应符合下列要求：

- 机器人检测到障碍物时，应在 200 ms 内做出减速或停车响应；
- 停车后与障碍物的最小距离应 ≥ 50 mm；
- 障碍物移出后，机器人应能自动恢复任务运行。

7.7.3 制动性能

应符合下列要求：

- 具备三级安全防护：
 - 1) ≥ 1 m 启动预警；
 - 2) ≥ 0.5 m 启动减速；
 - 3) ≥ 0.2 m 启动急停。

- 低速型自主移动机器人制动距离 ≤ 0.5 m，中速型自主移动机器人制动距离 ≤ 1.0 m，高速型自主移动机器人制动距离 ≤ 1.5 m；
- 在距离边界 ≥ 50 mm的距离能够可靠停止。

7.8 电磁兼容性要求

自主移动机器人的电磁兼容性应符合以下要求：

- 工业机器人应符合 GB/T 17799.2 的规定；
- 商用服务型机器人应符合 GB/T 17799.1 的规定。

8 试验方法

8.1 通用试验条件

8.1.1 环境条件

除特殊要求的，试验在下述环境中进行：

- 温度：10 °C~30 °C；
- 相对湿度：0%~80%；
- 地面：平整、干燥、无油污混凝土地面/等效试验地面；
- 光照：100 lx~1000 lx；
- 试验场地无强电磁干扰、无剧烈振动。

8.1.2 试验设备

应满足下列要求：

- 激光跟踪仪/高精度全站仪：线性测量公差 $\pm 0.5\%$ ；
- 运动捕捉系统：采样频率 ≥ 100 Hz；
- 高速摄像机： ≥ 60 fps；
- 测速仪：精度 ± 0.01 m/s；
- 计时仪：精度 ± 0.01 s；
- 障碍物：标准障碍物、小尺寸障碍物、玻璃障碍物、吸光障碍物；
- 照度计、温湿度计、激光测距仪；
- 所有设备在计量校准有效期内。

8.2 环境感知鲁棒性试验

8.2.1 光照适应性试验

用可调光源分别设置5 lx、500 lx、10000 lx、100000 lx照度，在每个照度下运行10 min，测试ARM位姿准确度。

8.2.2 反光地面/玻璃墙/弱纹理试验

按照下述步骤进行：

- a) 铺设反光率 $\geq 80\%$ 地面，设置玻璃墙、弱纹理白墙；
- b) 启动 ARM 连续运行 30 min；
- c) 观察是否出现定位丢失、路径偏离、碰撞等情况。

8.2.3 传感器降级运行试验

ARM正常运行后，关闭主传感器，观察ARM是否进入降级模式，并以 ≤ 0.2 m/s速度安全行驶。

8.3 定位与位姿试验

8.3.1 位姿准确度试验

按照下述步骤进行：

- a) 在 10 m×10 m 标准试验场，在四角、四边中点、中心均匀布设 9 个测试标记点；
- b) 采用外部测量系统，如激光跟踪仪、全站仪或运动捕捉系统等标定各测试点在试验场地参考坐标系下的目标平面位姿(X, Y, θ)，其中 X, Y 为平面位置坐标， θ 为航向角；
- c) AMR 置于额定负载、额定速度；
- d) 下发指令，使机器人依次行驶至 9 个标记点，稳定停止 2 s 后记录实际位姿；
- e) 每个点重复测试 ≥ 10 次；
- f) 分别计算位置 RMS 误差、角度偏差、最大误差。

8.3.2 位姿重复性试验

按照下述步骤进行：

- a) 选取 3 个典型工位（例如充电位、上料位、卸料位）作为目标点；
- b) 设置 ARM 全以额定负载、额定速度分别从 0° 、 120° 、 240° 三个方向驶向目标点，每个方向重复 10 次，每个点总计 30 次；
- c) 每次停靠稳定 2 s 后记录实际位姿；
- d) 记录 30 次停靠坐标、离散范围。

8.4 建图精度试验

按照下述步骤进行：

- a) 搭建标准矩形试验场，布设 10 个固定特征点，标记真实坐标；
- b) 设置 AMR 在额定负载、额定速度下，完成 SLAM 建图；
- c) 导出地图坐标，与真实坐标对比，计算几何误差与角度误差；
- d) 分别测试静态建图、动态建图（动态物体占比约 30%）；
- e) 记录建图总时间，计算单位面积建图时间。

8.5 导航精度试验

按照下述步骤进行：

- a) 铺设标准路径：
 - 1) 直线段：长度 ≥ 10 m；
 - 2) 圆弧段：半径 ≥ 1 m；
- b) 使用运动捕捉系统标定理论路径；
- c) 设置 ARM 以额定速度沿路径自动行驶；
- d) 使用高速摄像机记录实际轨迹，采样率 ≥ 100 Hz；
- e) 每个速度等级重复试验 5 次；
- f) 计算最大横向偏移（直线）、最大径向偏移（圆弧）。

8.6 重定位试验

按照下述步骤进行：

- a) 先设置 ARM 完成建图并正常定位。
- b) 人为制造位姿丢失：
 - 1) 方式 A：遮挡主传感器 70% 视野并保持 3 s；
 - 2) 方式 B：将机器人平移 ≥ 3 m 至任意位置；
- c) 启动重定位，记录重定位时间与是否成功；
- d) 在特征丰富场景与特征稀疏场景分别测试；
- e) 每种场景重复 20 次，计算成功率。

8.7 速度控制精度试验

按照下述步骤进行：

- a) 在平直路径设置 3 m 测速区；
- b) 分别设定最低速度、1/2 最高速度、最高三档速度；
- c) 设置 ARM 匀速通过测速区，测速仪记录实际速度；

- d) 每档速度重复 5 次取平均值，计算速度误差。

8.8 避障与安全试验

8.8.1 静态障碍物避障试验

按照下述步骤进行：

- a) 在直线路径上分别放置：
 - 1) 标准障碍物：400 mm×400 mm×400 mm；
 - 2) 小尺寸障碍物：20 mm×20 mm×20 mm；
 - 3) 玻璃障碍物：透射率≥90%；
 - 4) 黑色吸光障碍物：反射率≤5%。
- b) 障碍物置于正前方、左前 45°、右前 45°；
- c) ARM 以额定速度驶向障碍物，每种障碍物、每个角度重复 10 次；
- d) 记录检测距离、响应时间、停车距离、是否绕行、是否碰撞。

8.8.2 动态障碍物避障试验

按照下述步骤进行：

- a) 启动 ARM 沿直线路径以额定速度行驶；
- b) 设置动态障碍物以 0.5 m/s~1.5 m/s 横穿路径，横穿位置分别位于道路的前 1/3 处、中点、后 1/3 处；
- c) 观察并记录 ARM 检测到障碍物的时间、减速/停车动作触发时间、制动距离、最小安全距离、障碍物离开后恢复行走的时间；
- d) 每个位置重复试验 10 次取平均值。

8.8.3 传感器融合延迟试验

按照下述步骤进行：

- a) 用高速采集设备同步采集：传感器触发信号、融合输出信号；
- b) 设置 ARM 为静止状态，突然施加姿态/位置扰动；
- c) 记录从传感器数据更新到融合位姿输出的时间差。
- d) 重复测试 20 次，取平均值。

8.9 电磁兼容性试验

按照GB/T 17799.1、GB/T 17799.2的规定执行。
