

ICS 25.040.30

J 28

团 体 标 准

T/AIIA 001—2020

移动机器人定位导航性能评估规范

Specification for performance evaluation of mobile robot
localization and navigation

2020 – 11 – 20 发布

2020 – 12 – 20 实施

深圳市人工智能产业协会 发布

目 次

前 言.....	3
1 范围.....	4
2 规范性引用文件.....	4
3 术语和定义.....	4
3.1 机器人本体和操作.....	4
3.2 传感器.....	5
3.3 机器人定位、导航及避障.....	5
3.4 机器人建图.....	6
4 定位与导航.....	7
4.1 测试条件.....	7
4.2 定位性能.....	10
4.3 重定位性能.....	11
4.4 导航性能.....	12
5 避障.....	13
5.1 测试目的.....	13
5.2 测试环境.....	13
5.3 测试方法.....	14
6 脱困.....	16
6.1 测试目的.....	16
6.2 测试环境.....	16
6.3 测试方法.....	17
6.4 脱困能力.....	17
7 地图构建.....	17
7.1 建图精度.....	17
7.2 单位面积建图时间.....	19
7.3 增量建图.....	20
8 多机器人协同.....	21
8.1 机器人协同避障.....	21
8.2 机器人协同交通.....	23
9 特殊性能测试.....	24
9.1 室外环境光线对定位导航性能的影响程度测试.....	24
9.2 动态行人避障测试.....	25
9.3 防跌落.....	25
附录 A 机器人定位导航性能参数汇总表.....	25

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本标准由深圳市人工智能产业协会提出并归口。

本标准主要起草单位：深圳市人工智能产业协会、深圳市大道智创科技有限公司、西安量子智能科技有限公司、北京云迹科技有限公司、深圳华安太科技有限公司、深圳市优必选科技股份有限公司、深圳优地科技有限公司、深圳奥斯诺导航科技有限公司、深圳市标准技术研究院、西北工业大学、哈尔滨工业大学（深圳）、深圳市普渡科技有限公司、北京康力优蓝机器人科技有限公司、深圳市智绘科技有限公司、坎德拉（深圳）科技创新有限公司、深圳市金大智能创新科技有限公司、深圳无境智能机器人有限公司、深拓科技（深圳）有限公司、深圳市志奋领科技有限公司、深圳市镭神智能系统有限公司、深圳玩智商科技有限公司、深圳市先发智能有限公司、西安优艾智合机器人科技有限公司。

本标准主要起草人：李汉舟、朱晓蕊、邢志伟、支涛、吕刚、范丛明、熊友军、龙建睿、龚汉越、魏伟、应甫臣、魏金生、袁杰、陈小兵、夏舸、王雪松、赵磊、唐可信、李睿、杨峰、王茂林、罗沛、王小旭、刘晓平、郭璁、刘雪楠、郭巍、龙军、洪涛、钱钟锋、胡小波、左睿、张智红、王晓花。

移动机器人定位导航性能评估规范

1 范围

本标准规定了移动机器人（以下简称机器人）的定位、导航、避障、脱困、地图构建、多机器人协同避障和协同交通等项目的性能测试要求和评估方法。

本标准适用于移动导引机器人、移动广告机器人、移动零售机器人、配送机器人、巡检机器人、商用清洁机器人等服务机器人。

本标准不适用于在山区、沙漠、树林、野外等极限场景中使用的特种机器人；不适用于家庭场景中使用的小型扫地机器人，不适用于公共道路使用的无人驾驶设备。

注 1：本标准所适用机器人的移动速度不大于 3m/s。

注 2：本标准所适用机器人的结构包括轮式、履带式、足腿式。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2013 机器人与机器人装备 词汇

GB/T 38124—2019 服务机器人性能测试方法

GB/T 38834.1—2020 机器人 服务机器人性能规范及其试验方法 第 1 部分：轮式机器人运动（ISO 18646-1:2016 Robotics-Performance criteria and related test methods for service robots – Part 1: Locomotion for wheeled robots, IDT）

3 术语和定义

3.1 机器人本体和操作

3.1.1 移动平台 mobile platform

能使移动机器人实现运动的全部部件的组装件。

注 1：移动平台包含一个用于支承负载的机架或底盘。

注 2：改写 GB/T 12643—2013，定义 3.18。

3.1.2 正常工作状态 normal operating status

机器人在制造商规定的使用环境下正常运行的状态。

3.1.3 自主导航模式 automatic navigation mode

机器人控制系统按照轨迹规划任务程序自主行走的一种工作方式。

3.1.4 手动模式 manual mode

通过按钮、操作杆以及除自动操作外对机器人进行操作的控制方式。

[GB/T 12643—2013，5.3.10.2]

3.2 传感器

3.2.1 激光雷达 LIDAR

通过主动发射并接收反射回来的激光，实时测量目标的位置、距离，形成点云图像，可用于环境感知的传感器。

3.2.2 主动结构光视觉 structured light vision

将结构化（点结构、线结构、面结构或光学编码）的光线投射到物体表面，获取视觉图像后，通过计算图像中结构光的变形（或飞行时间等）来确定被测物体的三维尺寸和位置信息，可用于环境感知的传感器。

3.2.2 单目视觉 monocular vision

仅利用一套成像设备完成视觉任务，如测量和定位。由于其深度感知能力受到限制，一般需要增加深度测量传感器或者通过运动产生视差才能用于三维空间环境感知。

3.2.3 双目立体视觉 binocular stereo vision

基于视差原理，利用两个安装在不同位置的成像设备，同时获取被测物体的两幅图像，通过计算图像对应特征点之间的位置偏差，来获取物体和环境空间的三维几何信息的技术。

3.2.4 里程计 odometer

用于测量行驶路径长度的传感器。

3.2.5 惯性导航 inertial navigation

采用陀螺和加速度计，测量载体的角速度和加速度，并通过导航解算得到载体运动的速度、姿态和位置信息，是一种不依赖于任何外部信息的导航技术，但其导航精度随时间发散。

3.2.6 主传感器 main sensor

在多传感器融合系统中，发挥最主要作用的传感器。

3.3 机器人定位、导航及避障

3.3.1 SLAM 技术 SLAM technology

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 同步定位与建图技术，是指机器人在未知环境中移动的同时，根据自身与环境特征的位置关系，通过概率算法，实现自身定位，同时建造出增量式环境地图的技术。

3.3.2 位姿 pose

空间位置和姿态的合称，包含三个位置和三个姿态角信息。对于在平面场地工作的机器人，位姿可以简化为由二维平面坐标和机器人航向角构成的三维向量。

注：改写 GB/T 12643—2013，定义 4.5。

3.3.3 轨迹规划 trajectory planning

根据具体任务，解算并生成机器人位姿的时间序列，形成相应的行进路径。

3.3.4 定位 localization

在环境地图上识别或分辨机器人的位姿。

[GB/T 12643—2013, 7.2]

3.3.5 导航 navigation

根据轨迹规划, 控制机器人从起始位姿通过特定路径达到目标位姿。

注: 改写 GB/T 12643—2013, 定义 7.6。

3.3.6 避障 obstacle avoidance

机器人在行进过程中, 中断原有轨迹规划, 主动避让障碍物, 完成避让后, 继续按照原轨迹规划运动。

3.3.7 重定位 relocalization

机器人的当前位姿丢失以后, 重新获取新的位姿的过程。

3.3.8 半围观 half surrounded

机器人周边大部分区域被人群或障碍物占据, 只剩下唯一的通道能够行走。

3.3.9 脱困 breakout

机器人行进轨迹被复杂障碍物阻挡, 不能进行有效避障和行走, 在恢复通道或寻找到通道后, 重新获得正常移动能力的过程。

3.3.10 协同避让 collaborative obstacle avoidance

多个机器人相遇时, 自动调整位姿, 彼此躲避。

3.3.11 最小通过宽度 minimum pass width

机器人能够自主通过的最窄的通道宽度。

3.4 机器人建图

3.4.1. 环境地图 environment map

利用可分辨的环境特征来描述环境的地图和模型。

示例: 栅格地图、几何地图、拓扑地图和语义地图。

[GB/T 12643—2013, 7.1]

3.4.2 建图 mapping

在未知环境里, 机器人根据运动过程中自身传感器采集到的环境信息, 构建环境地图的过程。

3.4.3 增量建图 incremental mapping

在已有环境地图基础上, 进一步增加或修改部分内容, 形成新的环境地图的过程。

3.4.4 修正建图 revised mapping

在已有环境地图基础上, 对原有环境地图中区域环境特征变化剧烈的部分, 进行修改补

充的建图方法。

3.4.5 扩展建图 extended mapping

针对某些应用环境不能一次完成建图，或不适合一次构建完整地图的场景，分次逐步添加新区域地图至原有环境地图的建图方法。

4 定位与导航

4.1 测试条件

4.1.1 测试设备

定位与导航测试设备应具备对机器人位姿和轨迹追踪的能力，并能实时完成位置、角度、运行轨迹、移动速度、转动速度等参数的记录和计算。

在室内测试时，可以采用高精度惯性导航系统、视觉追踪系统、激光跟踪仪或其它满足测试要求的测试设备。

在室外测试时，可以采用双天线 GPS/Bd 定位定向系统、差分 GPS/Bd 精确定位系统、高精度惯性导航系统或其它满足测试要求的测试设备。

本标准未规定具体的测试设备，但所用测试设备应带有计量鉴定部门出具的有效期限内的计量鉴定合格证明。

测试设备的参数包括但不限于以下：

位置分辨率 $\leq 3\text{cm}$ ；

位置精度 $\leq 5\text{cm}$ ；

角度分辨率 $\leq 3^\circ$ ；

角度精度 $\leq 5^\circ$ ；

数据采集频率 $\geq 10\text{Hz}$ 。

除上述设备以外，本标准还会用到如下测试设备：

计时器，精度 $\leq 0.01\text{s}$ ；

激光测距仪或卷尺，精度 $\leq 1\text{mm}$ 。

4.1.2 测试环境

测试环境应与制造商规定的机器人正常工作状态的使用环境一致。测试环境应开阔，且在测试路径上以及测试路径附近不应有非设定障碍物。

对于室内应用的机器人，应优先选择在室内测试；对于室外应用的机器人，应优先选择在室外测试。当测试场地不能达到测试目标和精度时，可以根据实际情况选择室内或室外测试。室外测试应选择无雨雪、大风等恶劣天气。

若测试环境中设置有隔离墙，则需满足机器人在设定测试路径上任何一个位置时，隔离墙与机器人中心的距离不小于机器人宽度的 1.5 倍或不小于 1.5m，二者取较小值。隔离墙高度应当高于机器人高度，并且不能被越过。

测试环境面积需根据机器人大小和转弯半径确定。可选择面积为 200m^2 至 1000m^2 的试验场所。有些试验如果不便在空旷场地进行，也可以根据测试具体要求选择其它特殊场地。

测试环境温湿度为机器人标称使用的环境温湿度。

注：机器人运动的方向为机器人长度方向，垂直于运动方向为机器人宽度方向。

4.1.3 测试路径

测试路径包括：直线、“L”形、“U”形、“口”形路径。

直线路径：在测试区域设定起点 A 和目标点 B，AB 距离至少为机器人长度的 5 倍，且机器人行走方向如图 1 所示。

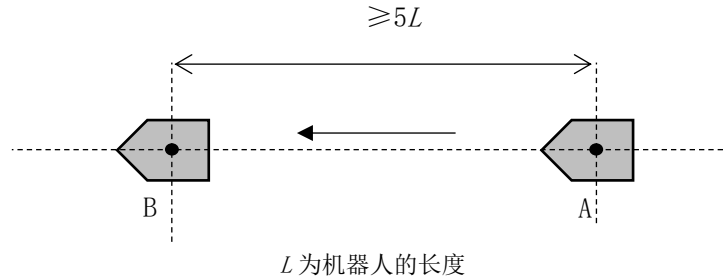


图 1 直线路径

“L”形路径：在测试区域设定起点 A 和目标点 C，“L”形路径边长至少为机器人长度的 5 倍，机器人行走方向为 A-B-C，如图 2 所示。

注 1：在此路径下，机器人可选择路径 a 或路径 b。

注 2：路径 b 需完全在 AC 对角线同侧，且路径 b 与 AC 连线围成的面积需大于路径 a 与 AC 连线围成的面积的 1/2。

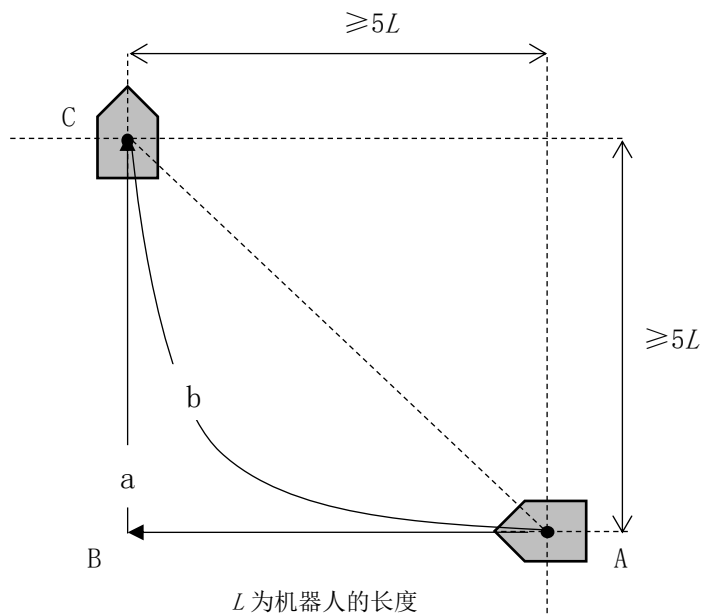


图 2 “L”形路径

“U”形路径：在测试区域设定位置点 A、B、C、D，“U”形路径边长至少为机器人长度的 5 倍，机器人行走方向为 A-B-C-D，如图 3 所示。

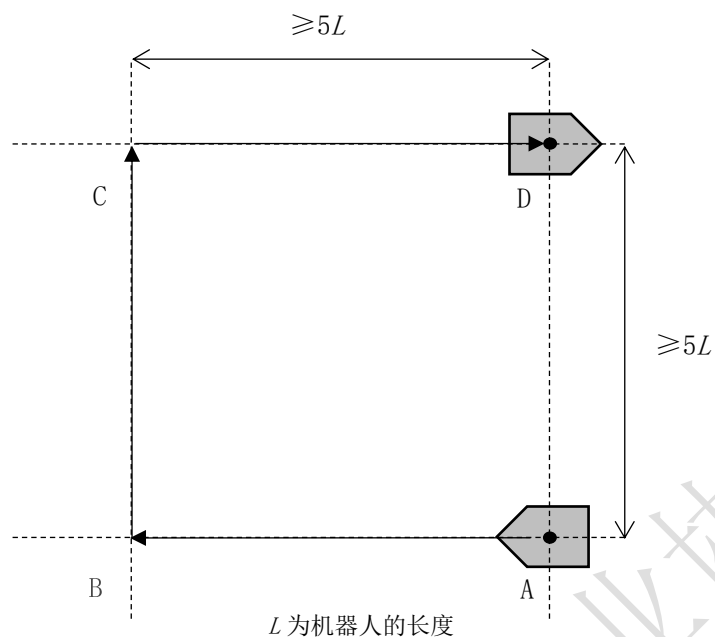


图3 “U”形路径

“口”形路径：在测试区域设定位置点A、B、C、D，“口”形路径边长至少为机器人长度的5倍，如图4所示。机器人按A-B-C-D-A路径方向行走，此路径起点和目标点均为A。“口”形路径可以用于测试机器人导航系统的回环检测性能。

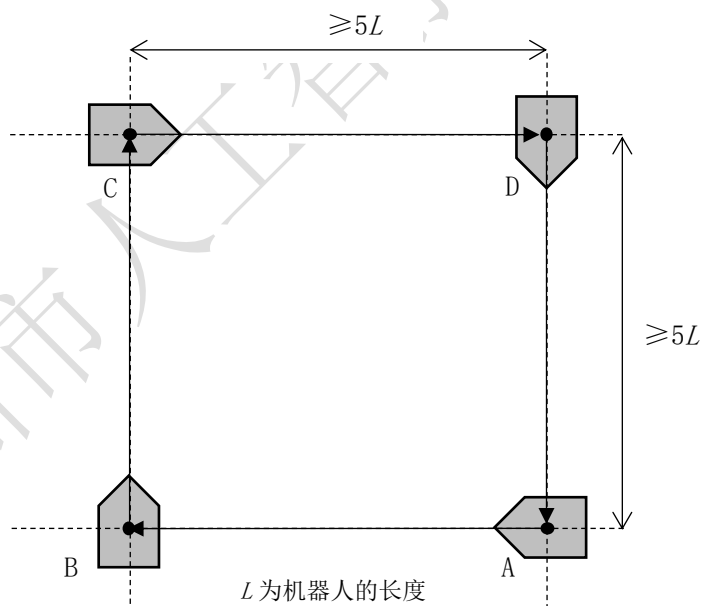


图4 “口”形路径

4.1.4 测试速度

本规范中，凡没有明确规定机器人行进速度的测试项目，机器人行进速度均为厂家标称的额定速度 $V_{\text{额定}}$ 。

4.2 定位性能

4.2.1 测试目的

本测试为了评估机器人在自主导航模式下,沿不同测试路径到达指定目标的能力,包括到达目标点的位姿准确度与重复性。

4.2.2 测试环境与设备

应满足4.1.1对测试设备的要求。

应满足4.1.2对测试环境的要求,且应选择4.1.3规定的测试路径。

4.2.3 测试方法

选择4.1.3中每一种测试路径类型,设定机器人起始点和目标点,在自主导航模式下使机器人从起始点到达目标点,记录机器人到达目标点时的实际位姿 (x_i, y_i, θ_i) ,记录指令的目标点位姿为 (x_0, y_0, θ_0) ,每种路径重复测试 N 次, $N \geq 6$ 。计算平均位姿信息为: $(\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i,$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \bar{\theta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i)。$$

$$\text{位置准确度: } AP_l = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2} \quad (1)$$

$$\text{姿态准确度: } AP_\theta = \bar{\theta} - \theta_0 \quad (2)$$

$$\text{位置重复性: } RP_l = \bar{l} + 3S_l \quad (3)$$

其中:

$$l_i = \sqrt{(\bar{x} - x_i)^2 + (\bar{y} - y_i)^2} \quad (4)$$

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i \quad (5)$$

$$S_l = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{l} - l_i)^2} \quad (6)$$

$$\text{姿态重复性: } RP_\theta = 3S_\theta, S_\theta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\bar{\theta} - \theta_i)^2} \quad (7)$$

4.2.4 测试结果

测试完成后,填写测试结果。机器人最终测试结果为所有测试路径条件下, N 次所得测试结果的平均值,如表1所示:

表1 定位性能测试结果

序号	路径类型	位置准确度 AP_l (m)	姿态准确度 AP_θ (°)	位置重复性 RP_l (m)	姿态重复性 RP_θ (°)	备注
1	直线					
2	“L”形					
3	“U”形					
4	“口”形					
	平均值					

4.3 重定位性能

4.3.1 测试目的

本测试为了评估机器人开机启动后，确定其位姿的能力和速度，和在某些场景中丢失位姿信息，重新确定位姿的能力，包括重定位成功率、重定位时间、重定位准确度和重复性。

4.3.2 测试环境与设备

应满足4.1.1对测试设备的要求。

应满足4.1.2对测试环境的要求，并选择4.1.3中“L”形或“U”形测试路径。

4.3.3 行进间重定位

根据机器人位姿更新算法和控制策略不同，根据以下情况进行测试。

第1种情况：

- 对于不依靠里程计输出决定位姿是否更新的机器人，在测试路径上选择测试点数量不少于3个，即：至少包括起点、终点和一个中间点。中间点应选择在机器人航向角转过 90° 以后的路径上。
- 使机器人进入自主导航模式，并运行到测试点后，命令机器人停止运动，记录机器人位姿 (x_0, y_0, θ_0) 。
- 然后遮挡其主传感器，使其位姿信息丢失至少10s以上。撤除遮挡物，记录从撤除遮挡物开始，在30s内重定位成功次数 n 及重定位时间 t_i 。若重定位成功，记录重定位后的位姿 (x_i, y_i, θ_i) 。总的重定位试验次数 N 次， $N \geq 30$ 。

第2种情况：

- 若机器人在遮挡主传感器后不再更新位姿，且一直保留原位姿信息，则方法1不能正确评价机器人重定位性能。在这种情况下，可通过相应接口给机器人设置错误的位姿信息，然后考核机器人重定位能力。
- 设置的错误位置应至少距离当前位置5倍机器人长度，设置错误的姿态角度与当前姿态角绝对值相差至少 30° 。在30s内重定位成功次数 n ，重定位成功时间为 t_i 。总的重定位试验次数 N 次， $N \geq 30$ 。

第3种情况：

在第2种情况下，若机器人没有相应接口，不能给机器人设置错误位姿信息，则行进间重定位测试不能给出，可按照4.3.4开机重定位测试方法进行试验。

行进间重定位测试指标如下：

重定位成功率 P_{rel} ：

$$P_{rel} = \frac{n}{N} \quad (8)$$

重定位时间 T_{rel} ：

$$T_{rel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (9)$$

重定位位置准确度 ARP_l ：根据公式（1）计算；

重定位姿态准确度 ARP_θ ：根据公式（2）计算；

重定位位置重复性 RRP_l ：根据公式（3）计算；

重定位姿态重复性 RRP_θ ：根据公式（7）计算；

4.3.4 开机重定位

在 4.1.1 环境中，选择一个起始点，将机器人放置在该点处之后再开机，使机器人在环境地图中进行定位，每次试验不应挪动机器人，重复试验 N 次， $N \geq 30$ 。重定位测试指标同 4.3.3，并根据相应的公式进行计算。

4.3.5 测试结果

测试完成后，填写测试结果，见表 2：

表 2 重定位指标测试结果

序号	测试项目	重定位成功率 P_{rel}	重定位时间 T_{rel} (s)	位置准确度 ARP_l (m)	姿态准确度 ARP_θ (°)	位置重复性 RRP_l (m)	姿态重复性 RRP_θ (°)
1	行进间重定位						
2	开机重定位						

4.4 导航性能

4.4.1 测试目的

测试机器人在工作环境下的轨迹规划能力和运动控制性能。

4.4.2 测试环境与设备

应满足 4.1.1 对测试设备的要求。

应满足 4.1.2 对测试环境的要求，并选择 4.1.3 中直线测试路径或“S”形测试路径，如图 5 所示。

4.4.3 测试方法

4.4.3.1 导航路程误差

选择 4.1.3 直线测试路径，指定起点 A 和目标点 B，使机器人在自主导航模式下从 A 到达 B，测试设备记录机器人的行走路程 L_i ，记 L_0 为 A-B 最短路程，路程差为 $L_i - L_0$ ，重复 N 次， $N \geq 6$ ，计算得到均方根误差：

$$E_L = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - L_0)^2} \quad (10)$$

及单位路程均方根误差：

$$\overline{E}_L = \frac{E_L}{L_0} \quad (11)$$

4.4.3.2 导航时间误差

测试步骤如 4.4.3.1，记录行走时间 t_i 。设机器人以额定速度走完 A-B 最短路径所需要的时间为 t_0 ，重复 N 次， $N \geq 6$ ，计算得到均方根误差：

$$E_T = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - t_0)^2} \quad (12)$$

及单位时间均方根误差：

$$\overline{E}_T = \frac{E_T}{T_0} \quad (13)$$

4.4.3.3 单位轨迹均方根误差

对于具有路径设定功能的机器人，该项目可测试机器人导航的控制能力。

由于需要精确复现机器人运动轨迹，可在机器人的移动平台上设置差分 GPS/Bd 天线、高精度惯导或激光跟踪仪反射镜组件，记录机器人实际位置轨迹。

在图 5 中，由两段半径为 R 圆弧组成的“S”形路径 L_0 ， R 大于 5 倍机器人长度。让机器人在该设定路径 L_0 上行走，测试设备记录机器人实际行走轨迹为 L_i ，重复 N 次， $N \geq 3$ 。对 L_0 和 L_i 等距采样，获取同等数量的 K 个位置采样点， $K \geq 10$ 。

$$LP_0 = \{(x_0^1, y_0^1), (x_0^2, y_0^2), \dots, (x_0^K, y_0^K)\}$$

$$LP_i = \{(x_i^1, y_i^1), (x_i^2, y_i^2), \dots, (x_i^K, y_i^K)\}$$

轨迹均方根误差：

$$E_{traj,i} = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [(x_i^k - x_0^k)^2 + (y_i^k - y_0^k)^2]} \quad (14)$$

$$E_{traj} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_{traj,i} \quad (15)$$

单位轨迹均方根误差：

$$\overline{E_{traj}} = \frac{E_{traj}}{L_0} \quad (16)$$

其中： L_0 为指定轨迹长度。

注：本项目为选做项目。

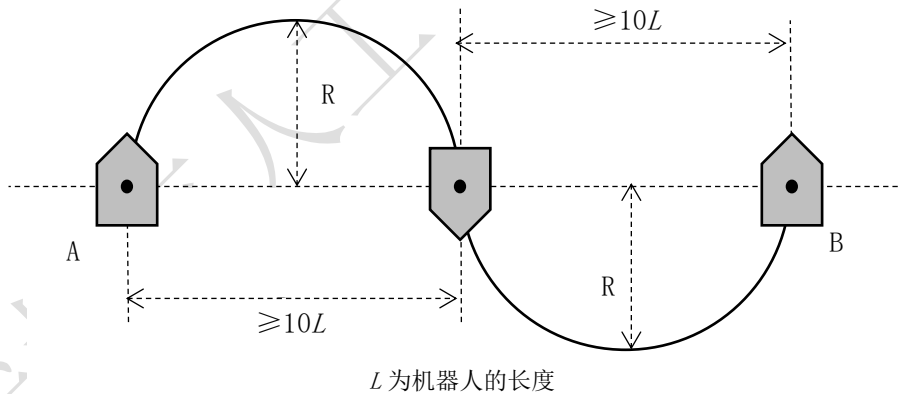


图 5 “S”形路径

5 避障

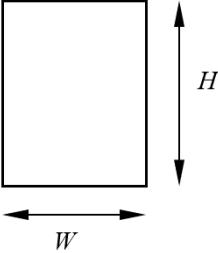
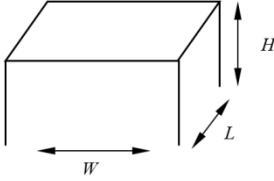
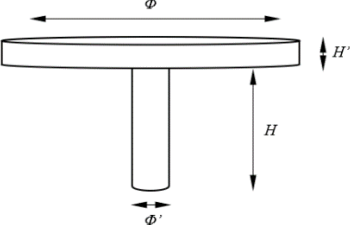
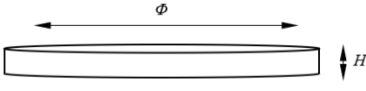
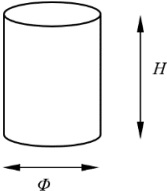
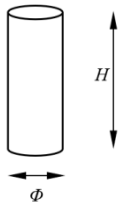
5.1 测试目的

在正常工作状态下，测试机器人在不同工作环境中对静态和动态障碍物识别和避让的能力，可以综合评估移动平台的机械参数设计合理性，以及导航定位算法质量和环境感知算法质量。

5.2 测试环境

应满足 4.1.2 对测试环境的要求，并采用不同形状和材质的障碍物，如表 3 所示。

表 3 典型障碍物

类型	几何形状	描述
墙面		材质分别为：镜面/平面透光玻璃/木材/铝合金/厚度大于 1mm 的帘布。 高 H : 1500mm 宽 W : 1000mm
桌子		带有四条支柱的桌子，材质为木材。 高 H : 700mm~800mm 宽 W : 500mm~800mm 长 L : 300mm~600mm 桌子腿宽度：小于 50mm×50mm
空中圆盘		空中圆盘，材质为木材。 高 H : 600mm 高 H' : 20mm 直径 Φ : 500mm 直径 Φ' : 100mm
低矮圆盘		低矮扁形圆柱体，材质为木材。 高 H : 80mm 直径 Φ : 300mm
大圆柱		大圆柱体，模拟人的躯干，材质为木材。 高 H : 600mm 直径 Φ : 200mm
小圆柱		小圆柱体，模拟人的手臂或腿，材质为木材。 高 H : 400mm 直径 Φ : 70mm

注：墙面类型的障碍，分别包括镜面、平面透光玻璃、木材、铝合金、厚度大于 1mm 的帘布等 5 种材质，视为 5 种不同的障碍物。

5.3 测试方法

5.3.1 静态障碍物避让

5.3.1.1 最小通过宽度

最小通过宽度测试能够检测出移动平台的移动灵活性。如图 6 所示，机器人进入自主导航模式，设定导航路径通过障碍物 SO_1 和 SO_2 ，逐步减小 SO_1 和 SO_2 间距。若测试机器人能顺

利往返 P_1 和 P_2 点，且不触碰到障碍物连续 30 次，则将此距离定义为机器人的最小通过宽度 W_{pass} 。 SO_1 和 SO_2 可以是真实墙面，或表 3 描述的 5 种墙面障碍物之一，或表 3 描述的大圆柱障碍物。

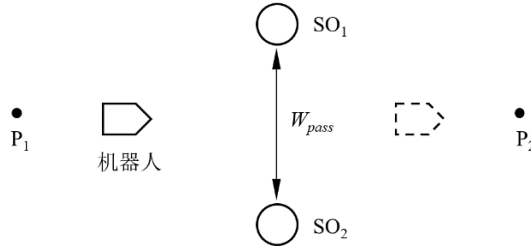


图 6 最小通道宽度

5.3.1.2 静态避障

根据场地大小确定一次试验能够容纳的障碍物 SO_n 数量， SO_n 为表 3 描述的 10 种障碍物之一。障碍物布局如图 7 所示。本测试需统计障碍物种类 p 和材质 m ，重复出现的同种障碍物，其种类和材质数量不做累计。机器人能够避让的障碍物种类和材质越多，表明机器人避障适应性越强。图 7 中粗实线部分代表真实墙体或表 3 描述的墙面障碍物，最窄墙体通道宽度为机器人最小通过宽度 W_{pass} 的 1.1 倍。 P_1 和 P_2 点分别是起始和目标点。且 P_1 和 P_2 点的连线经过每个障碍物中心。相邻障碍物 SO_n 和 SO_{n+1} 间的距离大于 5 倍机器人的长度。让机器人从 P_1 点自主行进到 P_2 点。若机器人经过某一个障碍物，且未碰触到该障碍物，则认为机器人成功避让障碍物 1 次。

如果测试场地足够大，可以一次性设置表 3 描述的 10 种障碍物，则不用对障碍物进行分组测试，此时分组数 $K=1$ 。进行 N 次测试， $N \geq 6$ 。记录试验中设置的障碍物总数量 n 、机器人成功避让总次数 s ，障碍物种类数量 p ，障碍物材质数量 m ，每次从起点到终点的行驶时间 t_{i0} 。

如果受场地大小限制，一次不能摆放多个障碍物，可将障碍物分成 K 组，每组障碍物都做 N 次测试， $N \geq 6$ ，并按照公式 (17) 对分组测试结果做累计计算，得到障碍物总数量 n 、机器人成功避让总次数 s ，障碍物种类数量 p ，障碍物材质数量 m 。

试验中，如果机器人不能正确避让某一种障碍物，导致后续测试无法继续进行，可用机器人能够成功避让的障碍物代替该障碍物。但是被替换的障碍物材质和种类不参与累计。

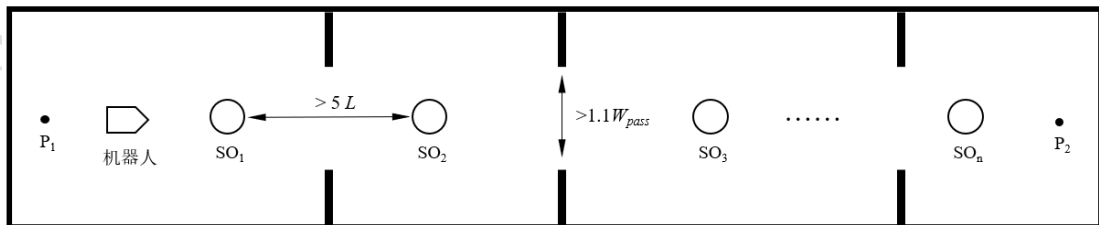


图 7 机器人静态避障

$$\begin{aligned}
 n &= \sum_{k=1}^K n_k \\
 s &= \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N s_{ik} \\
 m &= \sum_{k=1}^K m_k \\
 p &= \sum_{k=1}^K p_k
 \end{aligned} \tag{17}$$

定义静态避障能力 $SOA(p, m)$ ，静态避障速度效率为 $E_{as}(p, m)$ ，计算方法如下：

$$SOA(p, m) = s / (N \times n) \times 100\% \quad (18)$$

$$E_{as}(p, m) = \frac{N * K * L_{p1p2}}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N t_{ki}} / V_{\text{额定}} \times 100\% \quad (19)$$

其中：

L_{p1p2} 为 p_1 和 p_2 之间距离；

$V_{\text{额定}}$ 是机器人额定速度；

t_{ki} 是机器人在第 k 组第 i 次试验中，从起点到终点的行驶时间。

5.3.2 动态避障

如图 8 所示，在一个宽度 4 至 6 倍 W_{pass} 的通道内，设置两组移动障碍物 SO_1 和 SO_2 ，设定机器人的行进轨迹为在 P_1 和 P_2 两点之间往返行驶。记录机器人在行进过程中没有碰触到两组移动障碍物的测试次数。 SO_1 和 SO_2 是表 3 描述的大圆柱障碍物，或者是来回走动的测试人员。障碍物 SO_1 和 SO_2 分别按图 8 所示箭头方向往复运动。

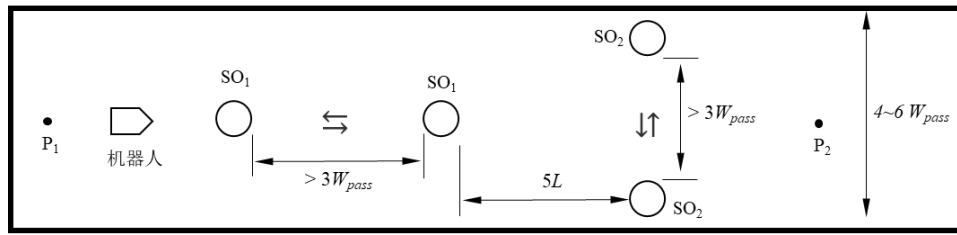


图 8 机器人动态避障

图 8 所示测试环境参数如下：

通道宽度为 $4W_{pass}$ 至 $6W_{pass}$ ， W_{pass} 为机器人最小通过宽度；

障碍物 SO_1 和 SO_2 移动速度设定为机器人额定速度的 80%；

障碍物移动距离大于 $3W_{pass}$ ；

障碍物 SO_1 和 SO_2 距离至少为 $5L$ ， L 为机器人的长度；

P_1 和 P_2 点距离至少为 $12L$ ， L 为机器人的长度。

如果机器人未能到达目标位置 P_2 或在运动过程中碰到障碍物，则视为测试失败。在连续 N 次测试后， $N \geq 20$ ，记录机器人从 P_1 到 P_2 点成功次数 n ，以及从 P_1 到 P_2 点的时间为 t_i 。机器人动态避让的成功率为：

$$P_n = \frac{n}{N} \quad (20)$$

机器人动态避障速度为：

$$V_{bd} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{L_{p1p2}}{t_i} \quad (21)$$

对于 N 次试验，平均动态避障速度效率为：

$$E_d = V_{bd} / V_{\text{额定}} \times 100\% \quad (22)$$

其中： $V_{\text{额定}}$ 是机器人额定速度。

6 脱困

6.1 测试目的

本测试是评估机器人在复杂场景或受限空间中的自主逃离困境的能力。

6.2 测试环境

在 4.1.2 节要求测试环境中，用表 3 描述的木质墙面构成“凹”形障碍物，或试验人员

组成“凹”形障碍物，机器人置于“凹”形内，此时机器人处于半围观状态，如图9所示。

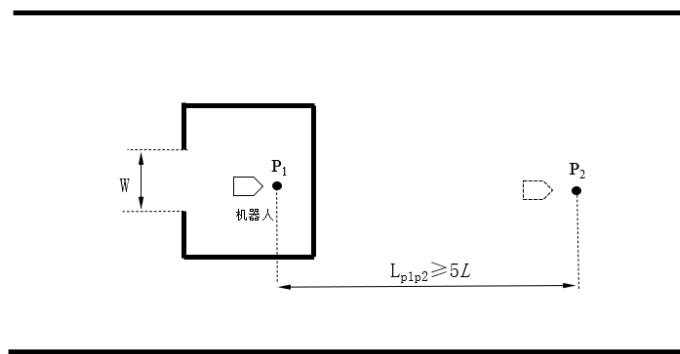
“凹”形障碍物内部空间应足够大，可以保证机器人完成调头动作。“凹”形障碍物口处宽度尺寸为 W 应满足 $W_{pass} \leq W \leq W_{pass} + 20\text{cm}$ ， W_{pass} 为机器人最小通过宽度。机器人以 P_1 为起始点， P_2 为目标点， P_1 和 P_2 之间距离 $L_{p_1p_2}$ 至少为5倍机器人的长度。

6.3 测试方法

如图9所示，将机器人按规定方向置于 P_1 点，行进方向前方应为障碍物；使机器人进入自主导航模式，设置行进路线为“凹”形障碍物正前方 P_2 处；记录机器人成功从 P_1 点抵达 P_2 的时间和次数。

如果脱困成功，记录第 i 次测试中机器人到达目标点所需的时间 t_i 。重复试验 N 次， $N \geq 20$ 。

如果在 $L_{p_1p_2}/V_{额定} + 30\text{s}$ 内无法行走目标点，则记录为失败一次。



L 为机器人的长度

图9 机器人脱困

6.4 脱困能力

完成 N 次测试后， $N \geq 20$ ，成功脱困次数记为 n ，定义脱困概率 P_b ，脱困速度效率为 E_t ，按照如下公式计算：

脱困概率 P_b

$$P_b = n/N \times 100\% \quad (23)$$

脱困平均速度效率 E_t ：

$$E_t = \frac{L_{p_1p_2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} / v_{额定} \times 100\% \quad (24)$$

7 地图构建

机器人自主导航采用SLAM技术，为了获得自主导航能力，一般需要提前建立环境地图。环境地图是机器人采用激光雷达、主动结构光视觉、双目立体视觉或单目视觉等传感器通过算法建立的场景模型，建图精度和质量可以综合评估机器人感知系统软硬件性能和建图算法有效性。

7.1 建图精度

7.1.1 测试目的

本测试为了评估机器人建立环境地图的精度。

7.1.2 测试环境

在 4.1.2 节要求测试环境中，均匀布设 k 个标志杆， $10 \leq k \leq 15$ 。标志杆上应包含足够明显的特征，能够被主传感器准确识别。

在测试场地最长和最宽方向应至少布设各一对标志杆。所有标志杆几何中心轴线在地面投影点之间的直线距离 $L_{0i,j}(i,j = 1,2 \dots k)$ 已知。

7.1.3 测试方法

本测试的具体试验步骤如下：

- 使用机器人对测试场景进行建图，行走路线不固定，但应经过所有标志杆，确保在所建环境图中能够找到所有标志杆的相对位置，如图 10 所示。
- 建图完毕后，在所建地图中分别找到标志杆所对应地图坐标点。在同一环境地图中分别计算所有标志杆之间距离，记为 $L_{Ri,j}(i,j = 1,2 \dots k)$ ，如图 11 所示。
- 重复步骤 a) 和 b) N 次， $N \geq 3$ 。

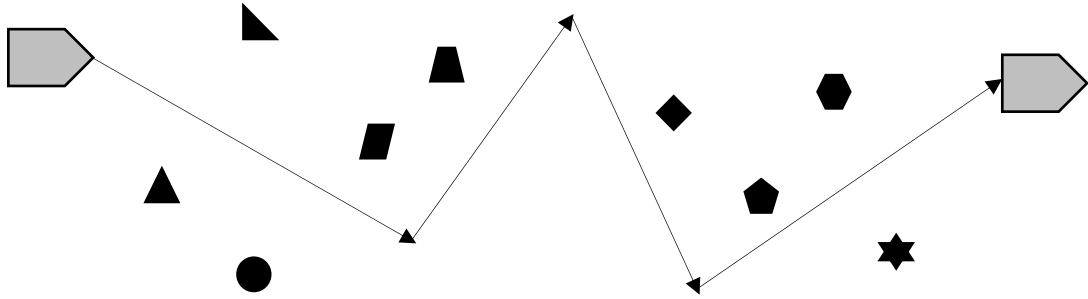


图 10 构建环境地图

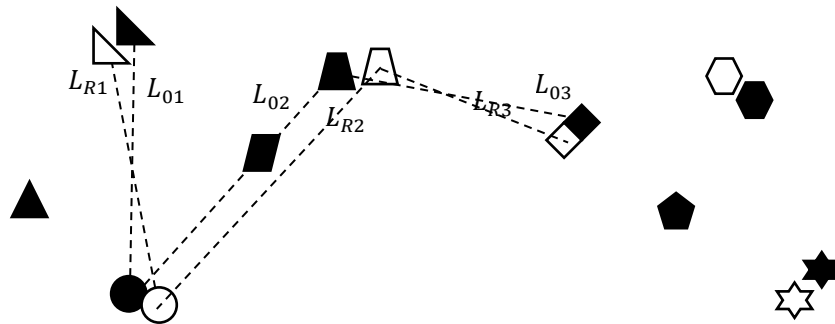


图 11 环境地图和真实场景中标志杆距离关系

注 1：图 10 中不同形状的多边形代表标志杆，箭头为行走路线示例，若无特殊说明，后文同此。

注 2：图 11 中空心的多边形为环境地图中标志杆位置，实心多边形为测试场景中标志杆的实际位置。

7.1.4 测试结果

按照式 (25) 分别计算每次建立的环境地图中，每一个标志杆和其它 $k-1$ 个标志杆之间的直线距离 i 的误差 $DE_{i,j}$ ：

$$DE_{i,j} = L_{Ri,j} - L_{0i,j} \quad i, j = 1, 2 \dots k \quad (25)$$

利用表 4，求出每一个标志杆与其它标志杆距离的最大绝对值误差 $|DE_{i,max}|$ ，作为该标志杆距离误差。

定义一次建图误差为：在一次建立环境地图操作中，每一个标志杆距离误差的均值：

$$\overline{|DE_{max}|} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |DE_{i,max}| \quad (26)$$

定义建图精度 DE 为 N 次建图误差的均值:

$$DE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \overline{|DE_{max}|}_i \quad (27)$$

表 4 标志杆之间距离误差统计表

序号	1	2	3	...	9	10
1	0	$DE_{1,2}$	$DE_{1,3}$		$DE_{1,9}$	$DE_{1,10}$
2	$DE_{2,1}$	0				
3	$DE_{3,1}$		0			
...				0		
10	$DE_{10,1}$				0	
$ DE_{i,max} $						

注 1: 该实例中, 假设 k 为 10。可根据实际测试, 调整 k 的取值。

注 2: $|DE_{i,max}|$ 为表中所列取绝对值的最大值。

7.2 单位面积建图时间

7.2.1 测试目的

本测试为了评估机器人构建环境地图的速度。

7.2.2 测试环境与设备

在 4.1.2 节要求测试环境中, 均匀分布机器人主传感器可以识别的 M 个标志杆, $M \geq 10$ 。标志杆密度为每 20m^2 一个。采用计时器计时或机器人服务器日志中的时间戳确定建图时间。

7.2.3 测试方法

本测试的具体试验步骤如下:

a) 机器人在测试环境中进行建图, 建图过程中需经过预先设置的 M 个标志杆, $M \geq 10$, 且在输出的环境地图应包含对应的标志杆;

b) 记录建图过程中数据采集时间 T_c 、数据传输时间 T_t 、数据处理及数据存储的时间 T_p ;

c) 在同一环境条件下重复建图 N 次, $N \geq 3$ 。

注 1: T_c 为从机器人开始行走走到最终停止的过程所消耗的时间。

注 2: 如果采用服务器进行建图, 则 T_t 为机器人采集某帧数据到服务器获取该帧数据所消耗的时间; 如果采用本地建图, 则 T_t 为零。

注 3: T_p 为机器人运动停止到完成环境地图本地生成以及人工编辑地图所消耗的时间。

7.2.4 测试结果

在该测试环境下, 机器人完成 1 次建图所需总体时间 T_e :

$$T_e = T_c + T_t + T_p \quad (28)$$

在该测试环境下, N 次试验的平均建图时间 \bar{T}_e :

$$\bar{T}_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{ei} \quad (29)$$

单位面积建图时间 RT :

$$RT = \bar{T}_e/S \quad (30)$$

其中： S 为测量环境面积。

7.3 增量建图

7.3.1 测试目的

本测试为了评估机器人是否具备增量构建地图的能力。

增量构建地图能力包含对原有地图区域环境特征变化进行修正的能力（即：修正建图）和添加新区域至原地图的能力（即：扩展建图）。

注：地图可以是栅格地图、特征点地图、稠密像素点地图。

7.3.2 测试环境与设备

在 4.1.2 节要求测试环境中，用表 3 规定的木质墙体作为隔板划将场地分成不同区域，每个区域内部具有若干个标志杆，标志杆密度为每 20m^2 一个。区域划分所使用隔板及标志杆可以拆卸和移动。

7.3.3 测试方法

7.3.3.1 修正建图

本测试的具体试验步骤如下：

- a) 机器人在测试环境中进行建图，建图过程中需经过设置的若干个标志杆，在输出的环境地图应包含对应的标志杆，如图 12 所示；

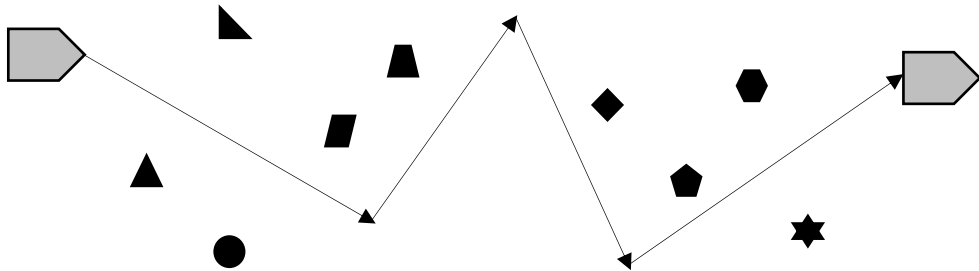


图 12 机器人对测试场景进行建图

- b) 建图完毕后随机选择测试区域内一半左右原有标志杆，将其移至与区域内随机其它位置，并保证新位置与原位置距离 1m 以上，或添加（减少）10%的标志杆；
- c) 重新操作机器人，设置其初始地图为第一步输出的环境地图，在新的测试环境中进行修正建图操作，如图 13 所示，图中空心多边形为移动后的标志杆位置；

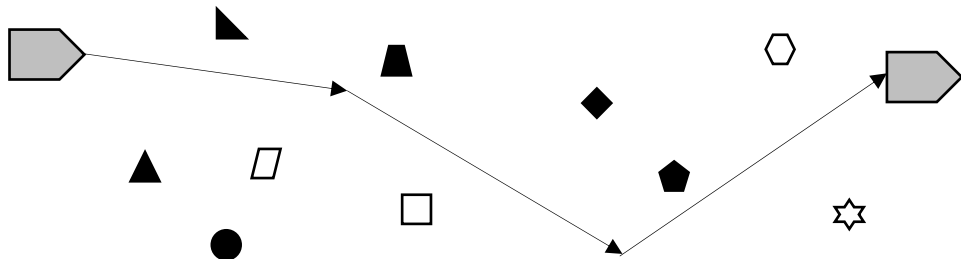


图 13 修正建图

- d) 修正建图完毕后，观察初始地图与更新之后地图的变化情况，应能如实删除被移除的标志杆，并将其重新构建到新的位置，或者增加（删减）相应标志杆。

7.3.3.2 扩展建图

本测试的具体试验步骤如下：

- a) 用可拆卸隔板将 40%左右标志杆隔离开，机器人建图时经过隔板一侧的各个标志杆，在输出的环境地图应包含对应的标志杆，如图 14 所示；

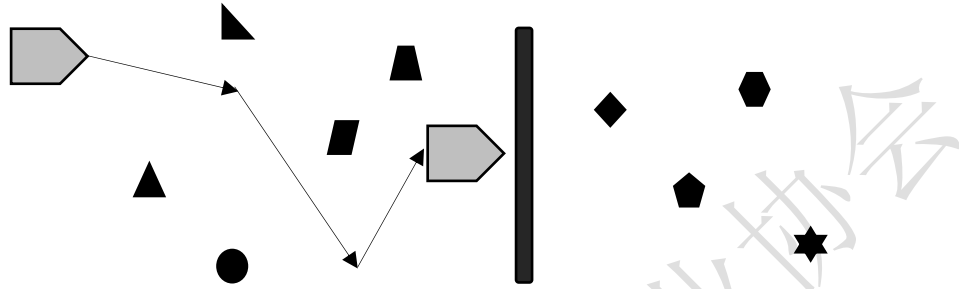


图 14 机器人对测试场景中部分场景进行建图

- b) 建图完毕后移除可拆卸隔板；
c) 重新操作机器人，设置其初始地图为第一步输出的环境地图，在新的测试环境中进行建图操作，建图路线应包含移除隔板之后的新增区域，如图 15 所示；

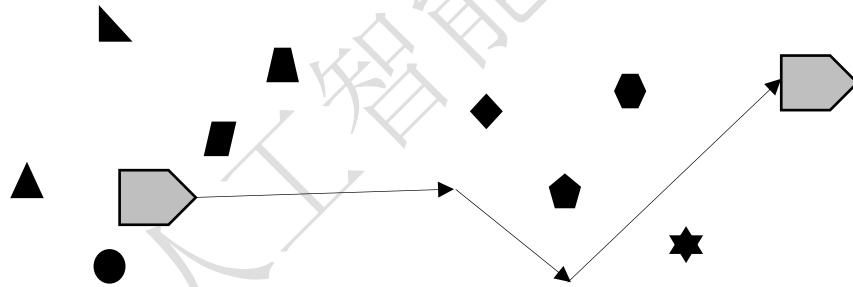


图 15 扩展建图

- d) 建图完毕后，观察初始地图与更新之后地图的变化情况，应能将地图扩展到新增区域，并正确将新增标志杆构建到地图当中。

注：隔板会出现在第一次建图结果中，在第二次建图时会消失。但隔板本身不是扩展建图关注对象。

7.3.4 测试结果

增量建图能力只考核被测机器人是否具有该项功能，不考核精度和效率。

8 多机器人协同

8.1 机器人协同避障

8.1.1 测试目的

本测试为了评估多个同型号机器人在狭小空间相遇后互相避让并在允许时间内成功到达目标位置的能力。

8.1.2 测试环境与设备

在 4.1.2 节要求测试环境中，用 5.2 节中木质墙面构成狭长通道，通道宽度为 2.5 倍 W_{pass} ， W_{pass} 为机器人最小通过宽度。

在通道中间 P_1 点和 P_2 点放置两台机器人，两点间距离为 $L_{p1p2}=5L$ ， L 为机器人的长度，如图 16 所示。本试验中的墙面也可以利用真实墙面。

8.1.3 测试方法

本测试的具体试验步骤如下：

- 如图 16 所示，机器人 R1 以 P_1 为起始出发点， P_2 为目的地，且朝向 P_2 行进；机器人 R2 以 P_2 为起始出发点， P_1 为目的地，且朝向 P_1 行进；
- 两台机器人都进入自主导航模式，设置机器人 R1 行动至目标点 P_2 ，机器人 R2 行动至目标点 P_1 处，两台机器人同时出发，用计时器记录机器人运行时间；
- 设单个机器人在无障碍物的情况下以额定速度到达目标点所需时间为 T ，若两机器人在 $6T$ 时间内均抵达目标点，且中途无碰撞现象发生，则协同避让成功，否则协同避让失败；
- 若协同避让成功，记录第 i 次测试中最后一台机器人到达目标点所需的时间 t_i ，并记录成功避让总次数为 n ；
- 重复试验 N 次， $N \geq 6$ 。

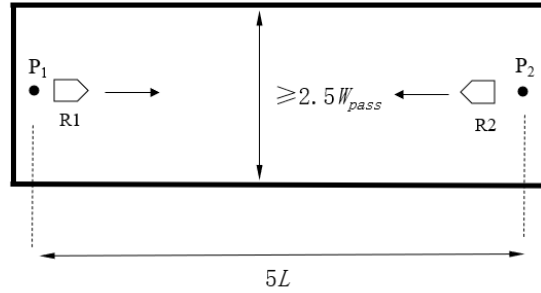


图 16 协同避让

8.1.4 协同避障能力和效率

设试验的总次数为 N ，机器人成功协同避障次数为 n 。记录每次试验中，最晚到达目标点机器人所用时间 t_i ，定义：

协同避障能力 P_{ca} ：

$$P_{ca} = n/N \times 100\% \quad (31)$$

协同避障速度效率 E_{ca} ：

$$E_{ca} = \frac{L_{p1p2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} / v_{\text{额定}} \times 100\% \quad (32)$$

其中： L_{p1p2} 为 p_1 和 p_2 之间距离；

$v_{\text{额定}}$ 是机器人额定速度；

t_i 是机器人第 i 次协同避障所用时间。

8.2 机器人协同交通

8.2.1 测试目的

本测试评估多台同型号机器人在狭窄路径相遇时，机器人之间是否能够协同工作，具备自主解决简单交通问题的能力。

8.2.2 测试环境与设备

在 4.1.2 节要求测试环境中，用 5.2 节中木质墙面构成狭长通道，通道宽度为 2.5 倍 W_{pass} ， W_{pass} 为机器人最小通过宽度。

在通道中部设置间距为 W ($W_{pass} \leq W \leq 1.8W_{pass}$) 的两个 5.2 节大圆柱障碍物 SO_1 和 SO_2 。在通道中间 P_1 点和 P_2 点放置两台机器人，两点间距离为 $L_{p_1p_2} = 5L$ ， L 为机器人的长度，如图 17 所示。本试验中的墙面也可以利用真实墙面。

8.2.3 测试方法

本测试的具体试验步骤如下：

- 如图 17 所示，机器人 R_1 以 P_1 为起始出发点， P_2 为目的地，且朝向 P_2 行进；机器人 R_2 以 P_2 为起始出发点， P_1 为目的地，且朝向 P_1 行进。用计时器记录机器人运行时间；
- 设置两台机器人都进入自主导航模式，且 R_1 的目标点为 P_2 ， R_2 的目标点为 P_1 ；
- 两台机器人同时出发，相向而行，基本同时达到障碍物附近；
- 设单台机器人在无障碍物的情况下以额定速度到达目标点的时间为 T ，若两机器人在 $6T$ 时间内均顺利抵达终点，途中无碰撞现象，则试验成功，否则失败；
- 记录协同交通成功次数 n 。以及最后一个机器人到达目标点所用时间 t_i ；
- 重复试验 N 次， $N \geq 6$ 。

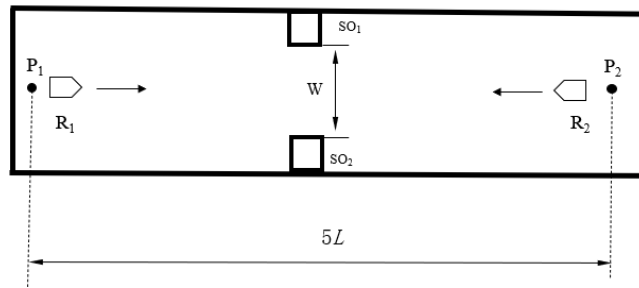


图 17 协同交通

8.2.4 协同交通能力和效率

设试验的总次数为 N ，机器人成功协同交通次数为 n 。记录每次试验中，最晚到达目标点机器人所用时间 t_i ，定义：

协同交通能力 P_{ct} ：

$$P_{ct} = n/N \times 100\% \quad (33)$$

协同交通速度效率 E_{ct} ：

$$E_{ct} = \frac{L_{p_1p_2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} / v_{\text{额定}} \times 100\% \quad (34)$$

其中： $L_{p_1p_2}$ 为 p_1 和 p_2 之间距离；
 $V_{\text{额定}}$ 是机器人额定速度；
 t_i 是机器人第 i 次协同交通所用时间。

9 特殊性能测试

9.1 室外环境光线对定位导航性能的影响程度测试

9.1.1 测试目的

针对室外机器人，检验室外光线变化对机器人导航性能的影响。

9.1.2 测试场地与设备

测试设备应满足 4.1.1 的要求。

室外测试环境应具备充足光照，且晴天。阳光照射地面角度为 $[10^\circ, 40^\circ]$ 时和 $[140^\circ, 170^\circ]$ 时，或在早晨 8:00–10:00 之间和傍晚 17:00–19:00 之间测试。

选择 4.1.3 中“L”形或“U”形测试路径。

9.1.3 测试方法

按 4.3 的要求，测试机器人重定位性能指标。包括重定位成功率 P_{rel} 、重定位时间 T_{rel} 、位置准确度 AP_l 、姿态准确度 AP_θ 、位置重复性 RP_l 、姿态重复性 RP_θ 。然后，比较在两种不同光照环境下对机器人重定位性能的影响。

以角标 1 表示早晨测试结果，以角标 2 表示傍晚测试结果，定义指标如下：

$$\text{重定位成功率比:} \quad r_p = \frac{P_{rel1}}{P_{rel2}} \quad (35)$$

$$\text{重定位时间比:} \quad r_T = \frac{T_{rel1}}{T_{rel2}} \quad (36)$$

$$\text{位置准确度比:} \quad r_{AP_l} = \frac{AP_{l1}}{AP_{l2}} \quad (37)$$

$$\text{姿态准确度比:} \quad r_{AP_\theta} = \frac{AP_{\theta 1}}{AP_{\theta 2}} \quad (38)$$

$$\text{位置重复性比:} \quad r_{RP_l} = \frac{RP_{l1}}{RP_{l2}} \quad (39)$$

$$\text{姿态重复性比:} \quad r_{RP_\theta} = \frac{RP_{\theta 1}}{RP_{\theta 2}} \quad (40)$$

9.1.4 测试结果判定

如果阳光照射角度对机器人定位导航性能影响不大，那么以上 6 个比率指标均约等于 1。否则说明阳光照射角度对机器人定位导航性能有影响。影响越严重，比值会越偏离 1。

测试完成后，填写两种环境下重定位测量指标值及比例，如表 5 所示。

表 5 不同光照环境下重定位性能测试对比结果

序号	环境类型	成功率 P_{rel}	重定位时间 T_{rel} (s)	位置准确 度 AP_l (m)	姿态准确 度 AP_θ (°)	位置重复 性 RP_l (m)	姿态重复 性 RP_θ (°)
1	早晨						
2	傍晚						
比值	-						

9.2 动态行人避障测试

9.2.1 测试目的

本测试为了评估在人流较大的环境中，机器人导航性能是否会受到影响。

注：本项目为选做项目。

9.2.2 测试环境与设备

在 4.1.2 节要求测试环境中，邀请 10 至 20 名测试人员作为移动障碍物。

9.2.3 测试方法

根据场地面积大小，确定行人密度 $\rho \geq 0.05$ 人/ m^2 。机器人建立好环境地图以后，进入自主导航模式，安排 N 人， $10 \leq N \leq 20$ 。在自主导航行进的机器人周围 30m 内随意走动。并安排 2 至 4 人在机器人周围半径 2m 范围内随意走动。作为移动障碍物的测试人员不能主动碰撞机器人，不能由后台操作机器人。测试时间为 30min，记录机器人与行人碰撞的次数 n 。

9.2.4 测试结果计算

动态行人碰撞指数为：

$$P_{col}(N) = \frac{n}{N} \quad (41)$$

9.3 防跌落

9.3.1 概述

本试验具有一定危险性，如果机器人在使用场景中有可能遇到类似的情况，可以考虑采用此测试项目。如果在使用场景中不存在此类情况，可以不做本项测试。另外，此项测试要求机器人必须具有相应的传感器和软件算法支持，如果没有软硬件支持，不能进行此项试验。

本试验有可能损坏机器人产品，或伤害人员，试验时必须做好防护工作。

注：本项目为选做项目。

9.3.2 测试目的

本测试用于评估机器人能否探测到易跌落区域并有效避开，防止机器人在有凹陷的地面运行时跌落。

9.3.3 测试环境与设备

选择一个有下降楼梯或台阶的长方形平台环境，面积为 100 m^2 至 200 m^2 ，根据机器人大小可以适当放大和缩小测试场地的面积。长方形平台宽度 $W \geq 10L$ ， L 为机器人的长度。

9.3.4 测试方法

机器人建立好环境地图以后，不得设定虚拟禁区，随机设定机器人的导航移动目标，目标点位置至少有 5 次在楼梯或台阶下边，让机器人进入自主导航模式运行 30min。机器人有一个支撑轮（支撑腿或一边履带）完全进入凹陷区域，或机器人垂直投影面的几何中心进入凹陷区域，定义为机器人跌落。记录机器人跌落次数。

注：机器人跌落后，应将机器人搬运到场地中心，或以手动模式，将机器人移动到出发点，继续试验。

9.3.5 测试结果

测试结果为机器人跌落次数 n 。

附录 A
(规范性附录)
机器人定位导航性能参数汇总表

A.1 机器人定位导航性能参数汇总表

序号	测试项目	性能参数	单位	测试结果	备注
1	定位性能	位置准确度 AP_l	m		
2		姿态准确度 AP_θ	°		
3		位置重复性 RP_l	m		
4		姿态重复性 RP_θ	°		
5	行进间重定位性能	成功率 P_{rel}	-		
6		重定位时间 T_{rel}	s		
7		重定位位置准确度 ARP_l	m		
8		重定位姿态准确度 ARP_θ	°		
9		重定位位置重复性 RRP_l	m		
10		重定位姿态重复性 RRP_θ	°		
11	开机重定位性能	成功率 P_{rel}	-		
12		重定位时间 T_{rel}	s		
13		重定位位置准确度 ARP_l	m		
14		重定位姿态准确度 ARP_θ	°		
15		重定位位置重复性 RRP_l	m		
16		重定位姿态重复性 RRP_θ	°		
17	导航性能	单位路程均方根误差 \overline{E}_L	m/m		
18		单位时间均方根误差 \overline{E}_T	s/s		
19		单位轨迹均方根误差 \overline{E}_{traj}	m/m		

20	静态避障性能	静态避障能力 $SOA(p, m)$	-		
21		静态避障效率 $E_{as}(p, m)$	-		
22	动态避障性能	动态避障成功率 P_n	-		
23		动态避障速度 V_{bd}	m/s		
24		动态避障速度效率 E_d	-		
25	脱困性能	脱困概率 P_b	-		
26		脱困速度效率 E_t	-		
27	建图性能	建图精度 DE	m		
28		单位面积建图时间 RT	s/m ²		
29		修正建图能力（有/无）	-		
30		扩展建图能力（有/无）	-		
31	协同避障能力	协同避障能力 P_{ca}	-		
32		协同避障速度效率 E_{ca}	-		
33	协同交通能力	协同交通能力 P_{ct}	-		
34		协同交通速度效率 E_{ct}	-		
35	室外环境光线对 导航性能的影响	重定位成功率比 r_p	-		
36		重定位时间比 r_T	-		
32		位置准确度比 r_{APL}	-		
37		姿态准确度比 $r_{AP\theta}$	-		
38		位置重复性比 r_{RPL}	-		
39		姿态重复性比 $r_{RP\theta}$	-		
40	动态行人避让	动态行人碰撞指数 $P_{col}(N)$	-		
41	跌落测试	30min 跌落次数	次		

深圳市人工智能产业协会