

中华人民共和国国家标准

GB/T 38124—2019

服务机器人性能测试方法

Performance test methods for service robots

2019-10-18 发布

2020-03-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测试条件 3

 4.1 测试前提条件 3

 4.2 环境条件 3

5 性能测试方法 4

 5.1 移动性能 4

 5.2 定位导航 8

 5.3 操作能力 15

 5.4 续航能力 17

 5.5 能耗 18

 5.6 语音交互 20

 5.7 人脸识别 23

附录 A（规范性附录） 障碍物及机器人前进方向 26

附录 B（规范性附录） 导航测试中的命令位置 28

参考文献 29

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由国家机器人标准化总体组归口。

本标准起草单位：沈阳新松机器人自动化股份有限公司、苏州苏相机器人智能装备有限公司、中国科学院沈阳自动化研究所、苏州傲特敏机器人技术服务有限公司、山东鲁能智能技术有限公司、科大讯飞股份有限公司、深圳市优必选科技有限公司、北京康力优蓝机器人有限公司、东北大学、华测检测认证集团股份有限公司、科沃斯商用机器人有限公司、中国科学院重庆绿色智能技术研究院、重庆鲁班机器人技术研究院有限公司、芜湖赛宝机器人产业技术研究院有限公司、中国科学院深圳先进技术研究院。

本标准主要起草人：徐方、邹凤山、孙立宁、瞿卫新、李志海、许玮、马万钟、袁杰、刘雪楠、姜杨、刘攀超、黄小中、何国田、程炎、欧勇盛、唐忠华、王恒之、宋吉来、刘晓帆、刘世昌、张锋、曹际娜、王吉祥、黄庆、林远长、牟昱。

服务机器人性能测试方法

1 范围

本标准规定了服务机器人移动性能、定位导航、操作能力、续航能力、能耗、语音交互及人脸识别的测试方法。

本标准适用但不限于轮式、腿式、履带式服务机器人。

注：关于其他服务机器人性能测试方法处于研究中，将在后续版本中更新。

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 3096 声环境质量标准

GB/T 18029.13 轮椅车 第13部分：测试表面摩擦系数的测定

GB/T 21023—2007 中文语音识别系统通用技术规范

ISO 18646-1:2016 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（Robotics—Performance criteria and related test methods for service robots—Part 1: Locomotion for wheeled robots）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

额定速度 rated speed

机器人在额定负载及正常工作状态下，允许达到的最大行进速度。

3.2

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底盘。

注2：由于与术语“机座(base)”可能发生混淆，建议不要使用术语“移动机座(mobile base)”来表述移动平台。

[GB/T 12643—2013, 定义 3.18]

3.3

正常工作状态 normal operating status

机器人制造厂商规定的，在符合使用环境下能正常运行的状态。

3.4

负载 load

在规定的速度和加速度条件下，沿着运动的各个方向，机械接口或移动平台处可承受的力和/或扭矩。

注：负载是质量、惯性力矩的函数，是机器人承受的静态力和动态力。

[GB/T 12643—2013, 定义 6.2.1]

3.5

额定负载 rated load

正常操作条件下作用于机械接口或移动平台且不会使机器人性能降低的最大负载。

注：额定负载包括末端执行器、附件、工件的惯性作用力。

[GB/T 12643—2013, 定义 6.2.2]

3.6

环境地图 environment map

环境模型 environment model

利用可分辨的环境特征来描述环境的地图或模型。

示例：栅格地图，几何地图，拓扑地图和语义地图。

[GB/T 12643—2013, 定义 7.1]

3.7

定位 localization

在环境地图上识别或分辨移动机器人的位姿。

[GB/T 12643—2013, 定义 7.2]

3.8

导航 navigation

依据定位和环境地图决定并控制行走方向。

注：导航包括了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。

[GB/T 12643—2013, 定义 7.6]

3.9

自动模式 automatic mode

机器人控制系统按照任务程序运行的一种操作方式。

注 1：这种模式下导航功能有效。

注 2：改写 GB/T 12643—2013, 定义 5.3.10.1。

3.10

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的操作的操作方式。

[GB/T 12643—2013, 定义 5.3.10.2]

3.11

待机状态 standby mode

机器人主电源打开后，不做任何操作的状态。

注 1：不包括电源打开后默认执行作业程序的机器人。

注 2：操作包括按钮、触屏、语音等外部唤醒。

3.12

续航能力 cruising ability

机器人在充电完成后，可持续运行的时间。不包含待机时间。

3.13

待机能耗 standby energy consumption

机器人在待机状态(3.11)下，单位时间内所消耗的电量。

3.14

工作能耗 energy consumption during work task

机器人在工作状态下，单位时间内所消耗的电量。

3.15

语音唤醒 **speech wakeup; voice trigger**

处于音频流监听状态的语音交互系统,在检测到特定的特征或事件出现后,切换到命令字识别、连续语音识别等其他处理状态的过程。

[GB/T 36464.2—2018,定义 3.13]

3.16

误唤醒 **false wakeup**

语音唤醒过程中出现的,无音频流或者音频流中没有出现唤醒所需的特征或事件时,语音唤醒系统被唤醒的现象。

[GB/T 36464.2—2018,定义 3.14]

3.17

声源定位 **acoustic source localization**

对发声物体位置的判断过程,包括声源平面角、俯仰角以及声源距离的测量。

3.18

声源平面角 **acoustic source plane angle**

发声物体与机器人正前方之间在同一水平面上的夹角。

3.19

语音识别 **speech recognition**

将人类的声音信号转化为文字或者指令的过程。

[GB/T 21023—2007,定义 3.1]

3.20

语音交互 **speech interaction**

人类和功能单元之间通过语音进行的信息传递和交流活动。

[GB/T 36464.2—2018,定义 3.1]

4 测试条件

4.1 测试前提条件

在测试前机器人应进行适当的预热。

机器人应处于正常工作状态,确保整个测试过程中以安全的方式操作。

对于移动性能、定位导航、续航能力和工作能耗测试,除非另有说明,机器人应在额定负载条件下以额定速度进行测试。

4.2 环境条件

在下列环境下对服务机器人进行性能测试:

- a) 环境温度:0℃~40℃;
- b) 相对湿度:0%~80%;
- c) 地面或坡面:摩擦系数在0.75~1.0范围内,依据 GB/T 18029.13 测量。

如果制造商指定的环境条件超出以上条件,应在测试报告内说明。



5 性能测试方法

5.1 移动性能

5.1.1 额定速度

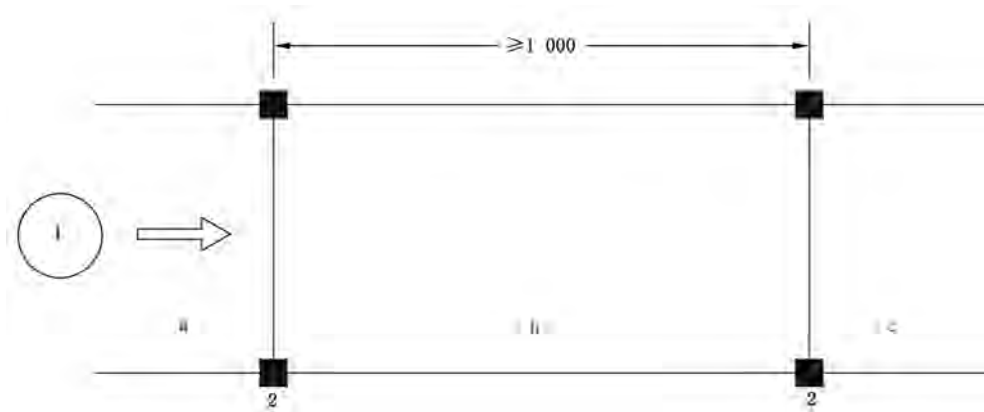
5.1.1.1 测试目的

本测试为了测试机器人在额定负载条件下,前往目标点的最大允许行进速度。

5.1.1.2 测试设备

如图 1 所示,速度测试区域长度为 5 倍机器人长度(沿运动方向的长度),但不小于 1 000 mm,宽度要保证机器人能够正常行走。测试区域各端要保留足够的空间进行加速和减速。

单位为毫米



说明:

- 1——机器人;
- 2——起始线和终止线;
- a——加速区域;
- b——测试区域;
- c——减速区域。

图 1 额定速度

5.1.1.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 将载有额定负载的机器人放置在初始位置;
- b) 机器人从初始位置开始加速,以便在起始线前达到额定速度;
- c) 机器人在同一位置通过速度测试区域的时间为 t ;
- d) 机器人通过终止线后减速至停止;
- e) 按式(1)计算额定速度。

$$v = \frac{s}{1\,000t} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

v ——速度,单位为米每秒(m/s);

s ——距离,单位为毫米(mm);
 t ——时间,单位为秒(s)。

如果机器人未通过测试区域的终止线或者偏离指定行驶方向超过速度测试区域长度的 10%,则认为测试失败,失败的情况需在报告中说明。取连续 3 次测试成功的最小速度值作为本测试中的额定速度值 v 。

5.1.1.4 测试结果

测试完成后,填写测试结果,见表 1。测试报告中,应记录测试环境如地面材质、摩擦系数等。

表 1 额定速度 单位为米每秒

第一次 v_1	第二次 v_2	第三次 v_3	额定速度(三次中最小值) v

5.1.2 制动能力

按照 ISO 18646-1:2016 中 6.1~6.4 规定的设备及方法进行测试。

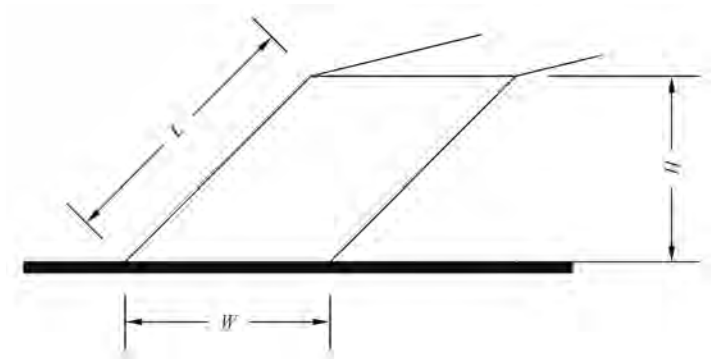
5.1.3 最大坡度

5.1.3.1 测试目的

本测试是为了测试机器人最大上、下坡角度及驻坡角度。评估机器人在直线和斜线方向上的上下坡能力和驻坡能力。

5.1.3.2 测试设备

坡度测试台或类似功能坡度装置(见图 2);要求坡度高度可调节,最小角度调节误差不大于 $\pm 0.5^\circ$;坡度长度不小于 5 倍机器人长度(沿运动方向的长度,不小于 1 000 mm),应能避免因惯性冲上坡;坡度宽度足够宽,应能避免机器人冲下坡,宜在坡面两侧添加安全护栏。



说明:
 L ——长度;
 W ——宽度;
 H ——高度。

图 2 坡度测试台

5.1.3.3 测试方法

测试步骤如下：

- a) 将坡度测试台坡度调至最低位置，机器人停在坡道上的最下方位置，作为初始位置；
- b) 机器人依次按表 2 测试配置的路径和方向移动到目标位置；
- c) 用角度传感器直接获取爬坡角度或用坡度高度 H 和长度 L 间接计算爬坡角度；
- d) 驻坡测试单独进行，测试时机器人应在坡道中间($L/2$)停止 30 s；
- e) 每个测试配置测试不少于 3 次，单次测试中如果失败可重复一次，如果仍失败，本测试终止。

表 2 最大坡度测试配置

测试配置	机器人相对于斜坡的路径	机器人的移动方向
1	向上	前进
2	向上	后退
3	向下	前进
4	向下	后退
5	横向(垂直面)	前进
注：测试配置 5 不适用于足腿式服务机器人。		

5.1.3.4 测试结果

每次测试时，若机器人在上坡或下坡的任一过程中出现倾倒、下滑、侧滑、颠簸、走歪以及报错等异常状况时，则认为此过程测试失败，机器人无法在此坡度或更高坡度下运行。测试结果应遵循：

- a) 包含机器人额定负载、额定速度，以及具体的测试环境等；
- b) 取连续 3 次测试成功的最小角度值；
- c) 如在 5.1.3.3 测试方法 e) 中有失败情形需在报告中说明。

5.1.4 坡上最大速度

按照 ISO 18646-1:2016 中 8.1~8.4 规定方法进行测试。

关于履带式服务机器人的测试角度为 10° 、 20° 、 30° 。

5.1.5 越障能力

5.1.5.1 测试目的

本测试是在机器人正常工作的条件下，测试其能越过不同障碍物及其上、下台阶的能力。

5.1.5.2 测试设备

测试用障碍物的具体类型与尺寸，见表 3。

E 类障碍物长度 L 不小于 3 倍机器人长度(沿运动方向的长度)，宽度 W 大于机器人的宽度且应不小于 1 000 mm。

F 类障碍物整体长度不小于 3 倍机器人长度(沿运动方向的长度)，且用于足腿式机器人测试时单个台阶的长度 L 大于机器人足底的长度，宽度 W 大于机器人的宽度且不小于 1 000 mm。

表 3 障碍物的类型与尺寸

单位为毫米

序号	类型	形状	尺寸
1	A1	台阶类似障碍物	$1\ 200(W)\times 40(L)\times H$
2	A2		$1\ 200(W)\times 1\ 500(L)\times H$
3	B	圆形截面障碍物	$1\ 200(W)\times \Phi$
4	C	圆弧形截面障碍物	$1\ 200(W)\times R$
5	D	地毯类似障碍物	$1\ 200(W)\times 1\ 200(L)$
6	E	单个台阶	$H\geqslant 100,W\geqslant 1\ 000$
7	F	连续台阶	$H\geqslant 100,W\geqslant 1\ 000$,级数 $\geqslant 3$
注 1: 轮式机器人不适用 E 类、F 类障碍物测试。 注 2: 各类障碍物的长度(L)、宽度(W)、高度(H)方向的确定,见附录 A。 注 3: Φ 圆形截面直径;R 圆弧形截面半径。			

5.1.5.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 根据表 3 选择测试障碍物的类型,并确定具体尺寸;
- b) 使机器人在正常工作条件下到达障碍物前方并通过障碍物,前进方向需垂直于障碍物,具体见附录 A;
- c) 对于 E 类、F 类障碍物,应从上和下两个方向上分别测试。

5.1.5.4 测试结果

机器人在上、下台阶或越过障碍时不应损坏,且通过障碍物时,机器人不应与障碍物接触,其车轮、履带、足底除外。

测试完成后,填写测试结果,见表 4。测试报告中,应记录障碍物材质与摩擦系数等。

表 4 越障能力

类型	名称	通过性		测试结果
		是	否	
A1	台阶类似障碍物			台阶最大高度
A2				台阶最大高度
B	圆形截面障碍物			圆形截面最大直径
C	圆弧形截面障碍物			圆弧形截面最大半径

表 4 (续)

类型	名称	通过性		测试结果
		是	否	
D	地毯类似障碍物			密度和绒头高度
E	单个台阶 (上方向)			台阶最大高度
	单个台阶 (下方向)			台阶最大高度
F	连续台阶 (上方向)			台阶最大高度 级数
	连续台阶 (下方向)			台阶最大高度 级数

5.1.6 转弯宽度

按照 ISO 18646-1:2016 中 10.1~10.4 规定方法进行测试。

5.2 定位导航

5.2.1 目标定位

5.2.1.1 测试目的

本测试为了测试机器人在导航模式下到达指定目标点的能力。包括到达目标点的姿态准确度和重复性。

5.2.1.2 测试设备及测试环境布置

测试设备应具备对机器人定位和导航过程中的姿态和路径的追踪功能,并能实时完成所追踪的位置、角度、运行轨迹、移动速度、旋转速度等的记录和计算。

注 1: 测试设备可以是视觉跟踪系统、激光追踪仪等。

测试设备要求如下:

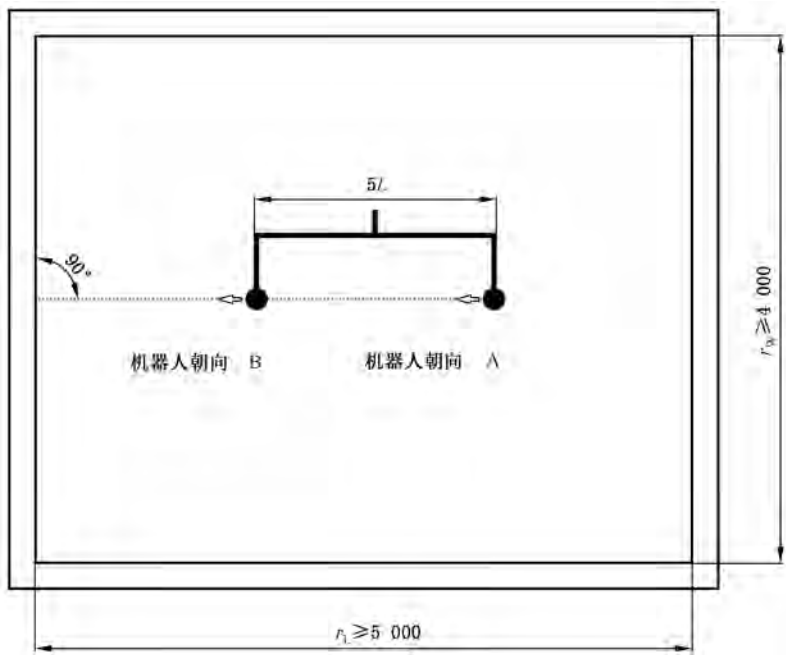
- 位置分辨率 ≤ 3 cm;
- 位置精度 ≤ 5 cm;
- 角度分辨率 $\leq 3^\circ$;
- 角度精度 $\leq 5^\circ$;
- 数据采集频率 ≥ 30 次/s。

测试环境和路径布置如下:

- a) 直线布置:在规定的测试区域设定位置 A 和位置 B,两个位置之间距离至少 5 倍机器人长度(沿运动方向的长度 L)。机器人在位置 A 或 B 时,机器人四周离周边隔离墙的垂直距离应不小于 1 000 mm,如图 3 所示。布置内的隔离墙宜比机器人高,且不能被越过。

注 2: 对于足腿式机器人, L 代表腿部所测量的尺寸。

单位为毫米



说明：

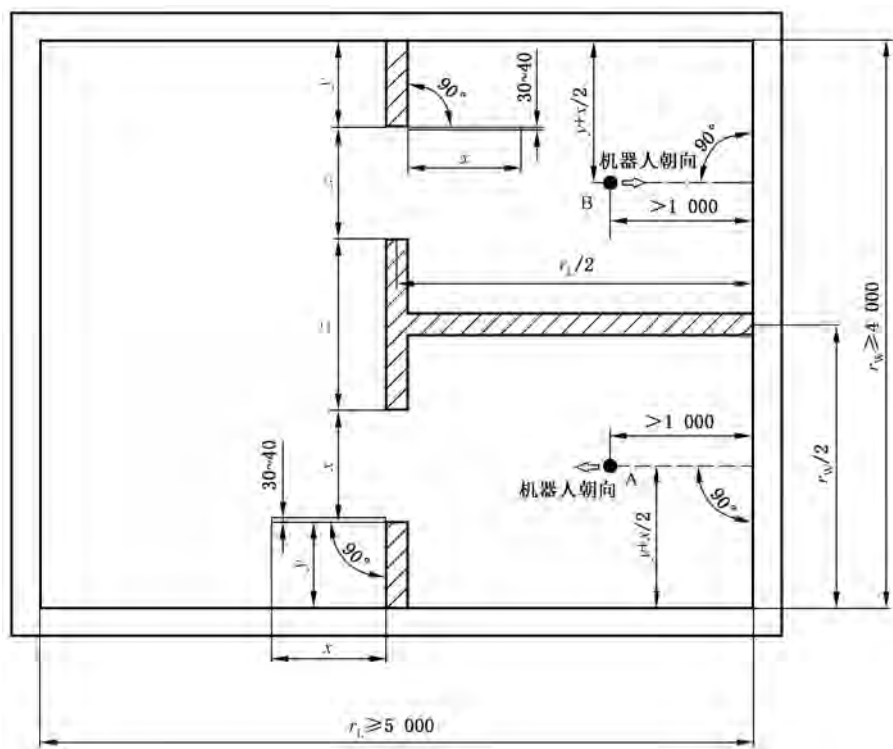
r_L —— 测试环境长度；

r_W —— 测试环境宽度。

图 3 直线布置

- b) 多区域布置:在规定的测试区域内,设置起始位置 A 和到达位置 B。机器人在位置 A 或 B 时,机器人四周离周边隔离墙的垂直距离应不小于 1 000 mm。多房间布局的门宽度为 x , $W + 300n < x < W + 300(n + 2)$, n 为任意的自然数,如图 4 所示的测试环境。布置内的隔离墙宜比机器人高,且不能被越过。

单位为毫米



说明：

r_L ——测试环境长度;

r_w ——测试环境宽度；

y ——门和隔离墙的间距。

图 4 多区域布置

5.2.1.3 测试方法

分别在直线布置和多区域布置环境下进行测试,测试步骤如下:

- 如图 3 和图 4 所示,按说明书做好导航准备(建图等)后使机器人到达位置 A;
- 自动模式下使机器人到达位置 B,手动模式下返回位置 A;
- 重复步骤 b)30 次;
- 按式(2)计算位置准确度(AP_d);

$$AP_p = \sqrt{(\overline{x} - x_c)^2 + (\overline{y} - y_c)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\overline{x} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} x_j \quad \overline{y} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} y_j$$

式中:

$\overline{x}, \overline{y}$ ——平均位置信息;

x_c, y_c ——命令位置信息(见附录 B);

x_j, y_j ——第 j 次的位置信息。

- e) 按式(3)计算姿态准确度(AP_c);

$$AP_c = \bar{c} - c_c \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\bar{c} = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} c_j$$

式中：
 $\bar{c}$ ——平均姿态信息；
 c_c ——命令姿态(见附录 B)；
 c_j ——第 j 次的姿态。

f) 按式(4)计算位置重复性(RP_l)；

$$RP_l = \bar{l} + 3S_l \dots\dots\dots (4)$$
$$\bar{l} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} l_j$$
$$l_j = \sqrt{(\bar{x} - x_j)^2 + (\bar{y} - y_j)^2}$$
$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (\bar{l} - l_j)^2}{29}}$$

式中：
 $\bar{l}$ ——平均距离；
 S_l ——标准偏差；
 l_j ——第 j 次的位置和平均位置之间的距离；
 x_j, y_j ——第 j 次的位置信息。

g) 按式(5)计算姿态重复性(RP_c)。

$$RP_c = 3S_c = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{30} (\bar{c} - c_j)^2}{29}} \dots\dots\dots (5)$$
$$\bar{c} = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} c_j$$

式中：
 S_c ——标准偏差；
 $\bar{c}$ ——平均姿态信息；
 c_j ——第 j 次的姿态。

5.2.1.4 测试结果

测试完成后,填写测试结果,见表 5。测试报告中,应记录测试环境如地面材质、摩擦系数等。

表 5 目标定位

布置种类	额定 负载	额定 速度	测试地面 参数	位置准确度	姿态准确度	位置重复性	姿态重复性
直线布置							
多区域布置							

5.2.2 导航能力

5.2.2.1 测试目的

本测试是测试机器人在工作环境下的路径规划能力。

5.2.2.2 测试设备及测试环境布置

同 5.2.1.2 测试设备。

5.2.2.3 测试方法

分别在直线布置和多区域布置环境下进行测试,测试步骤如下:

- a) 如图 3 和图 4 所示,按说明书做好导航准备(建图等)后使机器人到达位置 A;
- b) 自动模式下使机器人到达位置 B,手动模式下返回位置 A;
- c) A 到 B 过程中测试设备记录机器人行走距离 l_j ;
- d) 重复步骤 b)和 c)30 次;
- e) 按式(6)计算导航能力(AT_p)。

$$AT_p = \max(l_j - l_c) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

l_j ——第 j 次 A 到 B 的累计行走路程;

l_c ——A 到 B 的最短路程。

5.2.2.4 测试结果

测试完成后,填写测试结果,见表 6。测试报告中,应记录测试环境如地面材质、摩擦系数等。

表 6 导航能力

布置种类	额定负载	额定速度	测试地面参数	导航能力
直线布置				
多区域布置				

5.2.3 避障能力

5.2.3.1 测试目的

本测试是评估机器人通过停止或避让来防止与静态或动态障碍物发生碰撞的能力。

5.2.3.2 测试设备

测试使用的典型障碍物规格见表 7。

表 7 典型障碍物

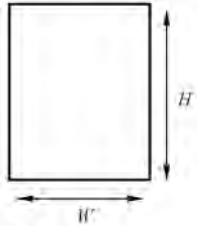
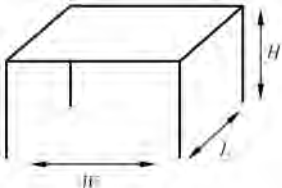
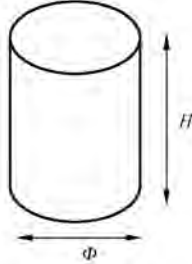
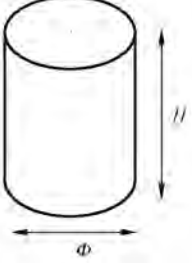
名称	几何形状	描述
墙壁		平板,模拟墙壁(包括松木板和透明度超过 80%的无色玻璃) 高 H :1 500 mm 宽 W :1 000 mm

表 7 (续)

名称	几何形状	描述
桌子		带有四条支柱的平板,模拟桌子(包括松木材质和钢质桌子腿的桌子) 高 H :700 mm~800 mm 宽 W :1 500 mm~2 000 mm 长 L :500 mm~800 mm 桌子腿的宽度:小于 50 mm
大圆柱体		大圆柱体,模拟人的躯干(灰色表面,漫反射率值为 27%~33%) 高 H :600 mm 直径 Φ :200 mm
小圆柱体		小圆柱体,模拟人的手臂或腿(灰色表面,漫反射率值为 27%~33%) 高 H :400 mm 直径 Φ :70 mm

测试区域应足够大,机器人起点 P1 和终点 P2 间距不小于 9 倍机器人长度(沿运动方向的长度 L)。机器人和障碍物间不应有任何阻碍,测试空间的墙壁不应有任何标记,如图 5 所示。

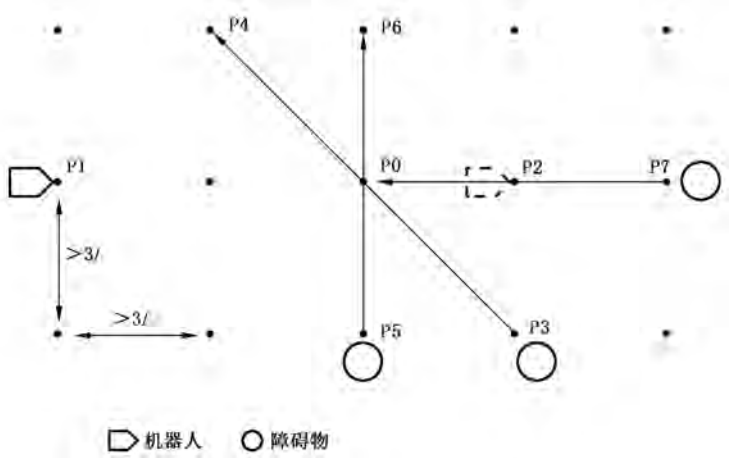


图 5 障碍物规避测试示意图

5.2.3.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 如图 5 所示,按说明书做好导航准备(建图等)后使机器人到达起点 P1;

- b) 按表 8 测试配置,分别使机器人自动模式下到达位置 P2;
- c) 测试配置 5~10 测试中可以沿着直线路径调整障碍物的初始位置,确保障碍物和机器人同时到达位置 P0;
- d) 当机器人到达目标位置 P2 时应当停止;
- e) 每种配置连续测试 3 次,并记录机器人运行时间。P1 到 P2 间无障碍运行时间为 T_0 , P1 到 P2 间有障碍运行时间为 T_1 。

表 8 障碍物规避测试配置

测试配置	使用障碍物	障碍物位置或移动路线	障碍物移动速度 m/s	机器人移动路线
1	墙壁	P0	0	P1 到 P2
2	桌子	P0	0	P1 到 P2
3	大圆柱体	P0	0	P1 到 P2
4	小圆柱体	P0	0	P1 到 P2
5	大圆柱体	P3 到 P4	1.6	P1 到 P2
6	小圆柱体	P3 到 P4	1.6	P1 到 P2
7	大圆柱体	P5 到 P6	1.6	P1 到 P2
8	小圆柱体	P5 到 P6	1.6	P1 到 P2
9	大圆柱体	P7 到 P0	1.6	P1 到 P2
10	小圆柱体	P7 到 P0	1.6	P1 到 P2
注 1: 测试配置 1,墙壁垂直放置,长边面向机器人。 注 2: 测试配置 2 适用高度大于障碍物的服务机器人。桌子长边面向机器人。 注 3: 测试配置 3,大圆柱体侧卧放置,长边面向机器人。 注 4: 测试配置 4,小圆柱体垂直放置。 注 5: 测试配置 5~测试配置 10 大圆柱体在距离地面 0.5 m 高度垂直移动,小圆柱体在地面上垂直移动。				

5.2.3.4 测试结果

如机器人未到达目标位置 P2 或在运动过程中碰到障碍物,则视为测试失败。在连续 3 次成功测试后,视为测试成功。按表 9 记录测试结果,测试结果中应包含障碍物尺寸和颜色、是否测试成功和机器人运行时间等信息。

表 9 避障能力

测试配置	使用障碍物	测试成功/失败	机器人运行时间 1 s	机器人运行时间 2 s	机器人运行时间 3 s
1	墙壁				
2	桌子				
3	大圆柱体				
4	小圆柱体				
5	大圆柱体				

表 9（续）

测试配置	使用障碍物	测试成功/失败	机器人运行时间 1 s	机器人运行时间 2 s	机器人运行时间 3 s
6	小圆柱体				
7	大圆柱体				
8	小圆柱体				
9	大圆柱体				
10	小圆柱体				



5.3 操作能力

5.3.1 手指指力

5.3.1.1 测试目的

本测试是测试机器人仅在手指关节驱动装置的协同作用下,手指执行按压动作产生的最大按压力。

5.3.1.2 测试设备

测试设备及原理如图 6 所示。

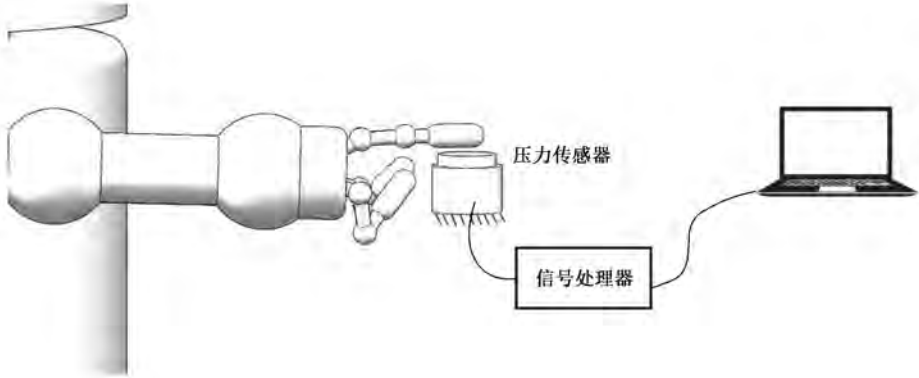


图 6 手指指力测试示意图

5.3.1.3 测试方法

测试步骤如下：

- a) 待测机器人手指应放置在测试装置上方,即为初始位置；
- b) 机器人待测手指从初始位置开始执行按压动作(手指应接触传感器中心位置),直至测试装置显示指力数值已达到最大；
- c) 数值达到最大后,抬起手指,恢复至初始位置；
- d) 以上步骤重复 3 次,取前三次成功测试中的最小值作为手指指力值。

5.3.1.4 测试结果

指力以牛顿(N)为单位,按表 10 记录测试结果。

表 10 手指指力

第一次	第二次	第三次	手指指力(3 次中最小值)

5.3.2 手臂负载能力

5.3.2.1 测试目的

本测试是机器人手臂执行托举动作所能承受的最大质量。
本方法适用末端执行器为手指或夹爪、可抓取并承受负载的服务机器人。

5.3.2.2 测试设备

测试设备及原理如图 7 所示。测试负载截面形状有三角形、正方形和圆形。可通过增加测试负载长度增加其重量。

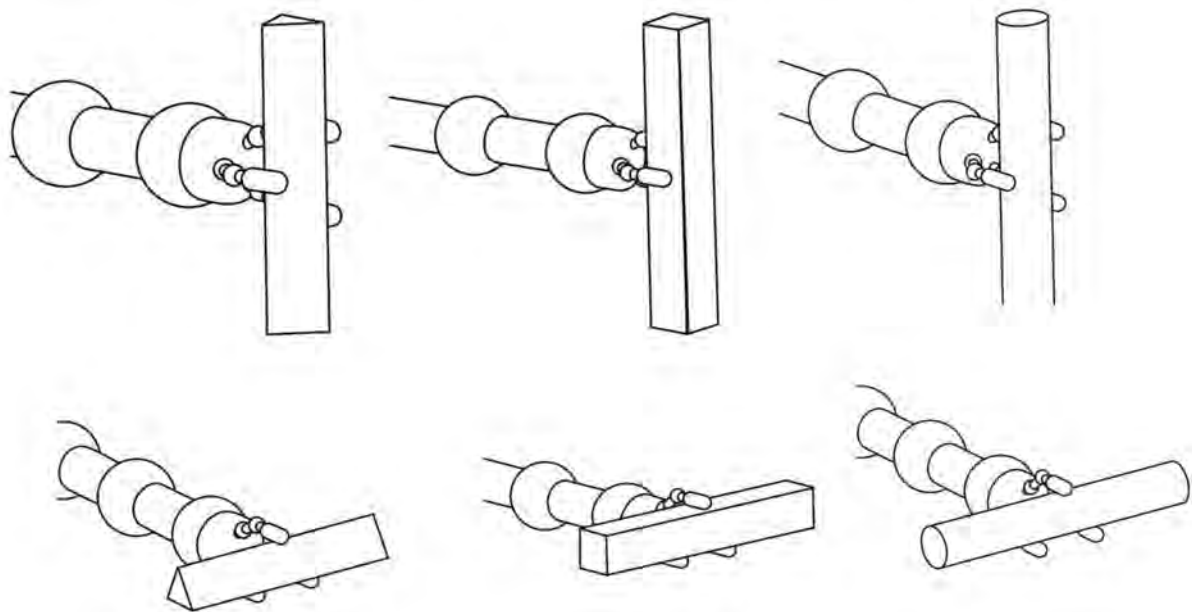


图 7 手臂负载能力测试示意图

5.3.2.3 测试方法

- 测试步骤如下：
- a) 机器人手臂初始位置为水平前伸状态；
 - b) 机器人分别在竖直和水平方向抓取三种形状的测试负载；测试负载的初始重量可从额定负载能力的 10% 开始；
 - c) 机器人抓取测试负载中间位置后，如手臂手指在 60 s 内不发生位移且测试负载不打滑，则判定该重量为机器人可负载重量；否则测试失败；其他动作如果抓取成功，则继续测试，直到不能抓取为止；
 - d) 每种负载重复测试 3 次，取前三次成功测试中的最小值作为手臂负载能力值。



5.3.2.4 测试结果

手臂负载能力以克(g)为单位,按表 11 记录测试结果。测试条件与步骤应在测试报告中声明。

表 11 手臂负载能力

负载形状	第一次	第二次	第三次	手臂负载能力(3 次中最小值)
三角形				
正方形				
圆形				

5.4 续航能力

5.4.1 持续工作时间

5.4.1.1 测试目的

本测试是为了测试由电池供电的服务机器人在每一个充电周期的最大允许运行时间 T_w 。

5.4.1.2 测试设备

测试环境如图 8 所示正方形区域,场景中点区域为摩擦系数为 0.5~0.8 的地板砖,斜线区域为毛长为 6 mm 的地毯,测试路面尺寸为 3 倍机器人长度(沿运动方向的长度)但不小于 1 000 mm,每边长度 $\geq 3\,000\text{ mm}$ 。

单位为毫米

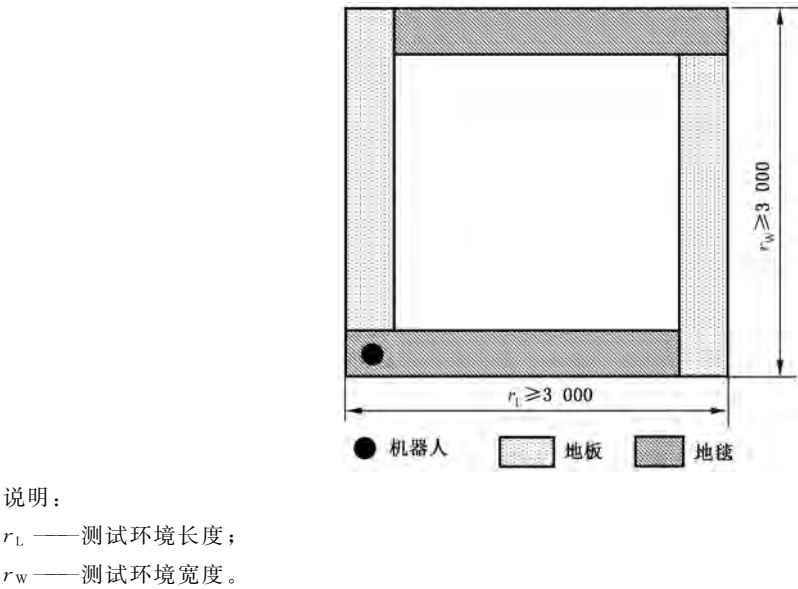


图 8 持续工作时间测试环境

5.4.1.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 机器人充满电后,按照说明书开启机器人,使机器人全部软件处于运行状态,运动部件按照说明书要求工作;

- b) 使机器人在图 8 环境下运行,直到它自动停止或不能重新启动,或者已经在寻找充电座,以记录的开始时间和结束时间计算出整个操作时间,并记为 T_w ;
- c) 测试过程可以是手动模式、自动模式或者其他设定方式,使机器人从起点逆时针或者顺时针循环运行;
- d) 以上步骤重复 3 次,计算平均工作时间。

5.4.1.4 测试结果

按表 12 计算平均持续工作时间。

表 12 持续工作时间

第一次 T_{w1}	第二次 T_{w2}	第三次 T_{w3}	平均工作时间 $(T_{w1} + T_{w2} + T_{w3})/3$

5.4.2 充电时间

5.4.2.1 测试目的

本测试为了评估电池驱动的机器人充满电所需的充电时间。

5.4.2.2 测试设备

机器人标配的充电设备,计时器。

5.4.2.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 对机器人进行放电,直至机器人电池低电量保护开启,不再进行电量输出。
- b) 使用供应商标配的充电设备,根据说明书的指示进行充电,充电过程需关闭一切功能。记录充电开始时间 T_s 。观察机器人的充电指示装置,当充电指示装置显示为满电后,应停止充电,记录机器人停止充电时间 T_e 。
- c) 以记录的开始时间 T_s 和结束时间 T_e 计算出机器人充电时间 T_c 。
- d) 以上步骤重复 3 次,计算平均充电时间。

5.4.2.4 测试结果

按表 13 计算平均充电时间。

表 13 充电时间

第一次 T_{c1}	第二次 T_{c2}	第三次 T_{c3}	平均充电时间 $(T_{c1} + T_{c2} + T_{c3})/3$

5.5 能耗

5.5.1 待机能耗

5.5.1.1 测试目的

本测试是测试机器人在待机状态下,单位时间所消耗的能量。

5.5.1.2 测试设备

计时器,电量测试设备(功率计等)。

5.5.1.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 对机器人进行充电,待电量充满后,使机器人处于待机状态,直到机器人电量低报警提示或 8 h (取最短时间)后停止记录待机时间;
- b) 立即对机器人进行充电,充电过程需关闭一切功能。充满电量后通过电量测试设备得到所充的总能量 E ;
- c) 使用式(7)计算待机能耗 Q ;

$$Q = \frac{E}{T}$$

.....(7)

式中:

E ——充电期间来自电网的能量,单位为瓦时(W · h);

T ——待机时间,单位为小时(h)。

- d) 以上步骤重复 3 次,计算平均待机能耗。

5.5.1.4 测试结果

按表 14 计算平均待机功耗。

表 14 待机能耗

第一次 Q_1	第二次 Q_2	第三次 Q_3	平均待机能耗 $(Q_1 + Q_2 + Q_3)/3$

5.5.2 工作能耗

5.5.2.1 测试目的

本测试是测试机器人在工作状态下,单位时间所消耗的能量。

5.5.2.2 测试设备

计时器,电量测试设备(功率计等)。

5.5.2.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 对机器人进行充电,待充电电量充满后,执行 5.4.1 持续工作时间测试,得到持续工作时间 T ;
- b) 立即对机器人进行充电,充电过程需关闭一切功能。充满电量后通过电量测试设备得到所充的总能量 E ;
- c) 使用式(8)计算工作能耗 P ;

$$P = \frac{E}{T}$$

.....(8)



式中：

E ——充电期间来自电网的能量,单位为瓦时(W·h)；

T ——持续工作时间,单位为小时(h)；

d) 以上步骤重复 3 次,计算平均工作能耗。

5.5.2.4 测试结果

按表 15 计算平均工作能耗。

表 15 工作能耗

第一次 P_1	第二次 P_2	第三次 P_3	平均工作能耗 $(P_1 + P_2 + P_3)/3$



5.6 语音交互

5.6.1 语音唤醒

5.6.1.1 测试目的

本测试是评估机器人自动匹配唤醒关键词,并成功唤醒智能终端语音交互系统的能力。

5.6.1.2 测试设备

测试设备如下：

a) 高保真语音回放系统(模拟真实工作场景)见表 16；

表 16 高保真回放设备要求

设备名称	设备代号	参数要求	说明
电脑		支持音频播放软件的安装和使用 能够显示机器人输出的音频和图像文件	音频播放
噪声环境录制器		环境噪声录制以机器人所处环境实际噪声为主	用于录制机器人所处环境 (GB 3096 中规定的 0 类~4 类环境) 噪声
高保真放音设备 1	A	频率响应(±2.5 dB):74 Hz~18 kHz 最大声压级:102 dB(A)	用于播放背景噪声,数量 2 个
高保真放音设备 2	B	频率响应(±2.5 dB):74 Hz~18 kHz 最大声压级:102 dB(A)	用于播放语音测试集 推荐无人工嘴的条件下使用
人工嘴 (高保真功率 放大器驱动)	C	信噪比:90 dB 增益控制:0 dB~25 dB 频率响应:200 Hz~10 kHz 最大声压级:110 dB(A)	推荐在测试环境内使用

b) 语音唤醒或交互测试集:至少由男女各 50 名的发音人进行录制关键唤醒词或交互的语音测试集,具体要求按照 GB/T 21023—2007 的 7.2、7.3 执行,并应存到机器人语音库；

c) 声压计:用于标定和测试背景噪声、唤醒或交互语音的声压级；

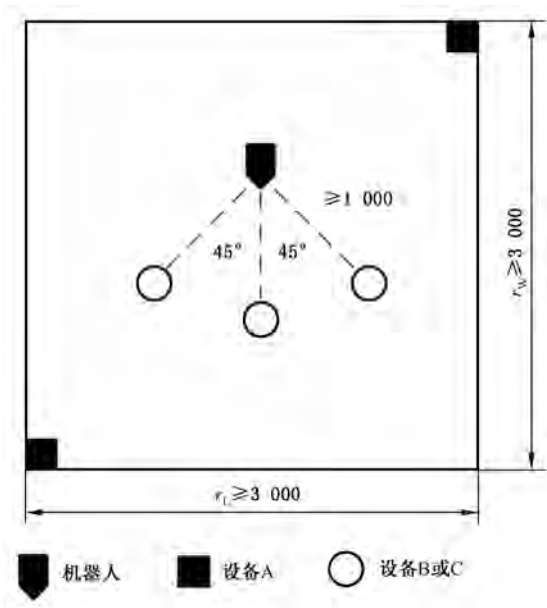
- d) 针对需要在线交互的服务机器人,为其提供所需的移动互联网服务,网络环境应至少为 4G 及以上制式,上行带宽不低于 100 kbit/s,下行带宽不低于 50 kbit/s,且需保持稳定的连通状态。

5.6.1.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 使用设备 A 模拟实际环境播放 0 类背景噪声,将机器人调至待命状态,按图 9 布置完成;其中设备 A 高度不小于 2 000 mm,两个设备 A 对角线放置,垂直距离不小于 3 000 mm;设备 B 和设备 C 推荐设置高度在 1 000 mm~1 800 mm 范围内;
- b) 分别将设备 B 或设备 C 放在机器人正前方、左前方和右前方 45°不小于 1 000 mm 处,以恒定时间间隔连续播放语音唤醒测试集进行唤醒 100 次,记录机器人是否给出正确响应,记录响应时间,并统计唤醒成功率;
- c) 用设备 A 分别播放 1 类~4 类背景噪声,重复步骤 b),并记录响应时间,并统计唤醒成功率;
- d) 将机器人调至待命状态 1 h,连续播放唤醒词以外的语音,分别记录机器人在 5 种背景噪声下是否被误唤醒,并记录误唤醒次数。

单位为毫米



说明:

r_L —— 测试环境长度;

r_W —— 测试环境宽度。

图 9 语音唤醒

5.6.1.4 测试结果

取唤醒时间和唤醒成功率的平均值为测试结果,见表 17。测试过程中若是出现误唤醒,记录误唤醒次数。同时,应记录测试语音数量、男女语音比例、播放语音的声压级等信息。

表 17 语音唤醒

测试位置	背景噪声	响应时间	唤醒成功率	误唤醒次数
正前方	0 类~4 类			
左前方 45°	0 类~4 类			
右前方 45°	0 类~4 类			

5.6.2 声源定位

5.6.2.1 测试目的

本测试用于测试机器人对声源位置的判断准确性,主要评估声源平面角度的影响。

5.6.2.2 测试设备

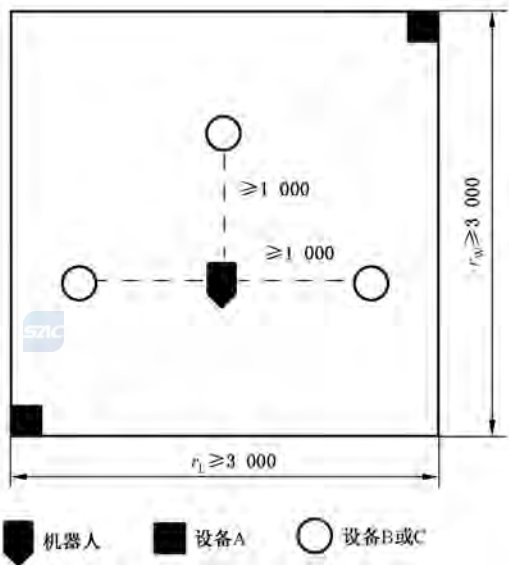
与 5.6.1.2 测试设备相同。

5.6.2.3 测试方法

测试步骤如下:

- a) 使用设备 A 模拟实际环境播放 0 类背景噪声,将机器人调至待命状态,按图 10 布置完成;其中设备 A 高度不小于 2 000 mm,两个设备 A 对角线放置,垂直距离不小于 3 000 mm;设备 B 和设备 C 推荐设置高度在 1 000 mm~1 800 mm 范围内;
- b) 分别将设备 B 或设备 C 放在机器人正后方、左方向和右方向 90°不小于 1 000 mm 处,以恒定的时间间隔连续播放语音唤醒测试集进行唤醒 100 次,同时将机器人停止运动后的正方向和声源之间的角度作为测试结果,并记录;
- c) 用设备 A 分别播放 1 类~4 类背景噪声,重复步骤 b),并记录角度。

单位为毫米



说明:
 r_L ——测试环境长度;
 r_w ——测试环境宽度。

图 10 声源定位

5.6.2.4 测试结果

测试角度的平均值作为测试结果,见表 18。同时,应记录测试语音数量、男女语音比例、播放语音的声压级等信息。

表 18 声源定位

测试位置	背景噪声	测试角度
正后方	0 类~4 类	
左方 90°	0 类~4 类	
右方 90°	0 类~4 类	

5.6.3 语音识别

5.6.3.1 测试目的

本测试是评估机器人正确识别语音的能力。

5.6.3.2 测试设备

与 5.6.1.2 测试设备相同。

5.6.3.3 测试方法



测试步骤如下:

- a) 使用设备 A 模拟实际环境播放 0 类背景噪声,将机器人调至待命状态,按图 9 布置完成;
- b) 分别将设备 B 或设备 C 放在机器人正前方、左前方和右前方 45°不小于 1 000 mm 处,以恒定时间间隔连续播放语音测试集进行语音交互 100 次,记录机器人是否给出正确响应,记录响应时间,并统计语音交互成功率;
- c) 用设备 A 分别播放 1 类~4 类背景噪声,重复步骤 b)。

5.6.3.4 测试结果

机器人的回答应和语音库中的回答一致,否则视为语音交互失败。

分别取响应时间和语音交互成功率的平均值为测试结果,见表 19。同时,应记录测试语音数量、男女语音比例、播放语音的声压级等信息。

表 19 语音识别

测试位置	背景噪声	响应时间	语音交互成功率
正前方	0 类~4 类		
左前方 45°	0 类~4 类		
右前方 45°	0 类~4 类		

5.7 人脸识别

5.7.1 测试目的

本测试是为了测试机器人在正常光照条件下,机器人对人脸的检测及识别的性能。

5.7.2 测试条件

测试条件如下：

- a) 测试人员 ≥ 40 名,其中,男性 ≥ 20 名,女性 ≥ 20 名；
- b) 室内背景为白色,明度大于 8.5 的中性色；
- c) 室内环境光照 40 lx~200 lx,色温 2 000 K~6 000 K；
- d) 人脸测试集 ≥ 500 张。

5.7.3 测试方法

人脸识别的性能可分为人脸检测成功率、人脸识别成功率、人脸识别距离三项指标,测试方法如下：

a) 人脸检测测试步骤如下：

- 1) 仅 1 名测试人员站在机器人摄像头检测区域内,根据系统提示信息,检查机器人是否能检测到测试人员的面部；
- 2) 所有测试人员重复步骤 1) 3 次,按照式(9)计算人脸检测成功率 C ,取最小值作为测试结果；



$$C = \frac{n}{N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

C ——人脸检测成功率；

n ——机器人检测到的人脸总数；

N ——测试人员总数。

- 3) 多名测试人员站在机器人摄像头的检测区域内,根据系统提示信息,检查机器人所能识别的最大人脸数目,记录连续测试成功检测 3 次的最小值,同时,记录每次实际测试人员数。

b) 人脸识别测试步骤如下：

- 1) 机器人采集测试人员的面部信息或者将包含测试人员面部信息的人脸测试集导入机器人中,并完成测试人员的信息录入；
- 2) 仅 1 名测试人员站在机器人摄像头检测区域内,测试人员与机器人保持 0.5 m 的距离,测试人员的面部与机器人分别呈 0° 和 45° ,根据系统提示信息,检查机器人是否能检测与识别到测试人员的正脸和侧脸,记录测试结果；
- 3) 测试人员依次重复步骤 2) 3 次,按照式(10)分别计算 0° 正脸和 45° 侧脸识别成功率 G ,其中识别错误或者人脸检测不成功均视为人脸识别失败。

$$G = \frac{u}{U} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

G ——人脸识别成功率；

u ——机器人正确识别人脸总数；

U ——测试人员总数。

注 1：以上步骤,测试人员正脸面对机器人,即测试人员面部与机器人脸部呈 0° 。

注 2：根据测试需要,可调整室内背景色,但需要在测试报告中注明。

c) 人脸识别距离测试步骤如下：

- 1) 固定机器人,仅 1 名测试人员站在机器人摄像头检测区域内,测试人员分别依次与机器人保持 0.5 m、1 m、1.5 m、2 m、2.5 m、3 m 的距离,不同距离,保持同一角度；
- 2) 根据系统提示信息,检查机器人是否能识别测试人员,记录机器人连续 3 次成功人脸识别

最大距离中的最小值。

5.7.4 测试结果

测试报告中应包括人脸检测成功率、人脸识别成功率和人脸识别最大距离测试结果，见表 20。同时，应记录测试人员数量、性别比例及室内背景等信息。

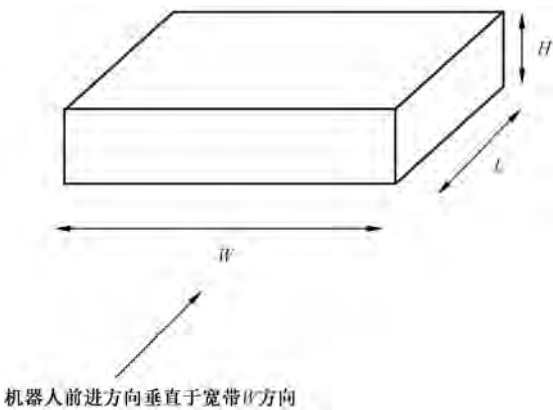
表 20 人脸识别

测试位置或方向	测试人员	测试次数	人脸检测成功率/ 最大识别人脸数	人脸识别成功率	人脸识别距离
正前方	单人				-
正前方	多人			-	-
机器人与人脸呈 45°	单人		-		-
正前方 0.5 m~3 m	单人		-	-	
注：“-”表示不适用于此项目。					



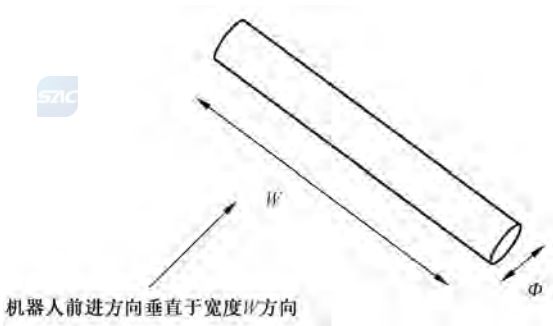
附录 A
(规范性附录)
障碍物及机器人前进方向

图 A.1、图 A.2 和图 A.3 给出了障碍物和机器人前进方向的位置关系。



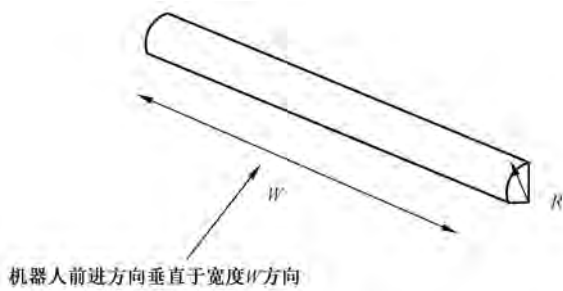
说明：
 H —— 高度；
 L —— 长度；
 W —— 宽度。

图 A.1 A1、A2、D1、D2、E、F 类障碍物及机器人前进方向



说明：
 Φ —— 直径；
 W —— 宽度。

图 A.2 B 类障碍物及机器人前进方向



说明：
 R ——半径；
 W ——宽度。

图 A.3 C 类障碍物及机器人前进方向

附 录 B
(规范性附录)
导航测试中的命令位置

B.1 命令位置 x_c, y_c

按照图 4 所示,通过机器人的移动控制终端,手动控制机器人到达命令位置 B,使机器人在其所建地图上记录 B 点对应位置,并通过测试设备记录机器人在 B 点的 x_c, y_c ,即为命令位置的坐标。

机器人从 A 点到达 B 点完成单次导航测试后,应手动控制机器人返回 A 点。

整个导航测试过程中,仅在首次导航测试中建立地图与指定命令位置,之后的导航测试沿用首次建立的地图与命令位置。

B.2 命令姿态 c_c

参照 B.1,按照图 4 所示,手动控制机器人到达命令位置 B 后,通过机器人的移动控制终端,调整机器人的姿态至命令姿态,该姿态由测试人员确定,并通过测试设备记录机器人在 B 处的姿态 c_c ,即为命令姿态。

整个导航测试过程中,仅在首次测试中指定命令姿态,之后的测试沿用首次命令姿态。

参 考 文 献

- [1] GB/T 10000 中国成年人人体尺寸
 - [2] GB/T 12643—2013 机器人与机器人装备 词汇
 - [3] GB/T 15608 中国颜色体系
 - [4] GB/T 15965 手工地毯 绒头长度的测定方法
 - [5] GB/T 17454.3 机械安全 压敏保护装置 第3部分:压敏缓冲器、压敏板、压敏线及类似装置的设计和试验通则
 - [6] GB/T 18386 电动汽车 能量消耗率和续驶里程 试验方法
 - [7] GB/T 21024—2007 中文语音合成系统通用技术规范
 - [8] GB/T 26158 中国未成年人人体尺寸
 - [9] GB/T 34145—2017 中文语音合成互联网服务接口规范
 - [10] GB/T 36464.2—2018 信息技术 智能语音交互系统 第2部分:智能家居
 - [11] QB/T 1188 地毯质量的试验方法
-