清洁机器人产品手册·技术白皮书

Tbot-Clean-H1 / Tbot-Clean-U75 / Tbot-Clean-X100 / Tbot-Clean-X150

上海瞳步智能科技有限公司

https://www.tobotai.com

摘要

本白皮书面向清洁运营方、系统集成商与 ODM 合作伙伴，系统介绍 TobotAI（瞳步智能）清洁机器人无人驾驶套件的技术架构、导航原理、清洁执行机构、硬件配置与算法优势。

产品族覆盖四档场景：Tbot-Clean-H1（家用·室内扫拖一体）、Tbot-Clean-U75（商用·洗地吸水一体）、Tbot-Clean-X150（室外大场景·无人驾驶清扫）。全系采用轮式具身导航移动底盘加自研 3D 多线激光雷达 SLAM 导航算法，以三维激光雷达为主、相机视觉为辅，面向商超、地下车库、写字楼、医院、园区与市政道路等真实清洁作业环境。

本文件介绍 TobotAI 清洁机器人产品系列；技术原理部分采用机器人领域通用工程方法进行说明，未公开的性能数值不做臆测。

一、产品定位与市场背景

1.1 产品定位

TobotAI 清洁机器人无人驾驶套件并非单一成品清洁设备，而是一套可按场景灵活配置的“导航底盘 + 清洁执行机构 + 调度软件”一体化方案。其核心定位有三层：

- 面向清洁运营方：提供可替代多名保洁人力的无人驾驶作业平台，支持预设路线循环清扫、沿边贴边清扫，无人值守持续作业。
- 面向系统集成商：开放 ROS 接口与上位应用集成能力，便于二次开发、与楼宇/BMS/园区管理平台对接。
- 面向 ODM 合作伙伴：支持外观、结构、硬件、软件、平台一站式定制，从样机验证到批量生产。

1.2 四档产品矩阵

依据作业场景与作业体量，产品族分为家用轻量档（H1）、商用中型档（U75）、室外园区档（X100）与室外重型档（X150）四档，形成从家庭公寓到市政道路的连续覆盖。四档机型共享同一套 3D 多线 SLAM 导航技术栈与底盘平台理念，差异主要体现在尺寸、重量、电池电压平台、清洁宽度、作业效率与雷达配置数量上。

1.3 市场背景

清洁机器人行业的核心驱动来自三方面：一是人力清洁成本上升与用工难，地下车库、商超、医院、园区等大面积场景对连续作业的无人化需求迫切；二是激光雷达与 SLAM 算法成熟，使移动机器人在无卫星信号的封闭室内（如地下停车场）也能稳定建图定位；三是新能源电池（磷酸铁锂/三元锂）能量密度与安全性提升，支撑了商用与室外重型清洁设备的长续航与快补能。

室内小型扫拖机器人多采用单线激光雷达加结构光/视觉方案；商用洗地与室外清扫机器人则普遍向 3D 多线激光雷达方向升级，以应对悬空障碍（如车位栏杆、管道）、低矮物体（如线缆、台阶）与人车混行的复杂环境。TobotAI 全系采用 3D 多线激光雷达 SLAM 导航方案，即是对这一行业升级趋势的响应。

二、关键技术原理

2.1 3D 多线激光雷达 SLAM 导航

SLAM（Simultaneous Localization and Mapping，即时定位与建图）是移动机器人实现自主导航的核心能力。其本质是：机器人在未知环境中移动时，一边根据传感器观测增量构建环境地图，一边在已建地图中实时估计自身位姿（位置与朝向）。

3D 多线激光雷达相比传统单线 2D 雷达，可同时获取三维点云，因此不仅能检测平面障碍物，还能识别悬空障碍、低矮物体与地面起伏。这对清洁机器人尤为关键——地下停车场的车位限位杆、管道、立柱，室外道路的缘石、路沿、杂物，都需要立体感知才能安全绕行。

建图阶段：机器人通过手动或自主方式遍历作业区域，激光点云逐帧配准（scan matching）累积形成环境的三维点云地图，并导出供后续作业使用。定位阶段：作业时激光雷达实时扫描当前环境，与已建地图进行匹配，输出连续位姿估计。

激光点云配准的经典方法包括迭代最近点法（ICP）、正态分布变换（NDT）与特征匹配法（基于点/线/面特征）。建图过程中还需通过回环检测（loop closure）识别“曾到过的位置”，以消除长时间运行产生的累积漂移，保证大范围作业（如整层地下车库、整条市政道路）地图的闭合精度。这些是 SLAM 算法栈的通用工程模块，TobotAI 自研栈针对清洁场景做了参数与稳定性优化。

室内外差异：室内场景（地下车库、商超）无卫星信号，依赖纯激光 SLAM；室外开放场景（园区、市政道路）可融合 GNSS 卫星定位作为冗余与全局参考，但仍以激光 SLAM 为主，以保证在高楼遮挡、树荫、隧道等卫星失效区域的连续性。X150 室外机型配置 2~4 个 3D 多线激光雷达，实现 360° 全覆盖感知，弥补单雷达在室外大车速下的视场角与响应盲区。

2.2 清洁执行机构原理

清洁执行机构采用“旋转清扫盘 + 盘刷/滚刷 + 吸水扒”组合，覆盖扫、拖、洗、吸四种作业模式：

- 扫（盘刷/滚刷）：盘刷贴近地面旋转，将散落颗粒灰尘向机器人中部收拢；滚刷（主刷）进一步将垃圾卷入尘箱。家用 H1 以扫拖为主，商用 U75 与室外 X150 配有更大直径盘刷与尘箱/污水箱。
- 拖（拖布/抹地）：旋转拖盘或振动拖布对地面进行湿式擦拭，H1 家用扫拖一体即采用此模式。
- 洗（洗地刷/百洁垫）：U75 商用洗地机型通过洗地刷盘带动清洁液刷洗地面油渍与污渍，是商用地坪深度清洁的核心动作。
- 吸（吸水扒/真空）：洗地后吸水扒紧贴地面，在真空负压作用下将污水回收至污水箱，实现“洗—吸”一次完成，地面即时干爽可通行。

上述组合使清洁机器人在一次通行中完成多步工序，这是其相对人工清洁效率提升的机构基础。

污水回收与容量管理：商用洗地机通常配置清水箱与污水箱分离结构，清水箱储存调配后的清洁液，污水箱通过吸水扒回收脏水。水位传感器实时监测，污水箱满时机器人自动返回排污点或提示人工干预；清水箱不足时暂停作业并补水。U75 商用机型即采用这一分离式水路结构。

2.3 底盘运动学与越障

全系支持双驱差速底盘，并可扩展麦克纳姆轮/全向轮全向底盘。差速底盘通过左右驱动轮转速差实现转向，结构简单、载荷能力强，适合 U75、X150 等中大型机型；全向底盘则可横移、原地旋转，适合 H1 等狭小空间与贴边作业。

越障能力与底盘离地间隙、驱动轮直径、重心分布直接相关。室外 X150 整机约 680 kg、尺寸约 2200×1100×1600 mm，需应对厂区与道路缘石、减速带。

驱动方式上，商用与室外清洁机器人普遍采用中后驱或四驱布局，以在满载污水箱时仍保持牵引力；清洁机构（盘刷、吸水扒）采用独立升降机构，可根据地面条件自动或手动调整贴地压力，这是洗地效果一致性的关键机构设计。

2.4 多雷达协同（X150 室外）

X150 配置 2~4 个 3D 多线激光雷达，通过外参标定（各雷达相对位姿）将多源点云融合为统一坐标系下的环境观测，实现前后左右 360° 无死角感知。多雷达协同的工程价值在于：室外车速较高时，单雷达的纵向视场角不足以覆盖前方足够制动距离，且存在侧面盲区；多雷达冗余同时提升了恶劣天气（雨天）下的感知可靠性——X150 支持雨天等恶劣天气可持续作业。

三、系统与硬件架构

3.1 电池与电源系统

全系支持三元锂与磷酸铁锂两种电池方案。两类电池特点对比如下：

- 磷酸铁锂（LFP）：热稳定性好、循环寿命长、成本较低，安全性优势突出，适合商用与室内长时间高频次作业。H1（21.6V 12Ah）与 U75（48V 80Ah）标配磷酸铁锂。
- 三元锂（NMC/NCA）：能量密度高、重量轻、低温性能好，适合对续航与重量敏感的室外重型机型。X150（72V 150Ah）提供三元锂/磷酸铁锂两种选择。

电压平台随机型功率等级递增：H1 21.6V（家用轻量）、U75 48V（商用中型）、X150 72V（室外重型），符合行业对不同功率等级电池平台的常规划分。

充电方式：支持自动回充（机器人自主返回充电桩）与直充（人工/固定桩直接充电）两种模式，以实现无人值守持续作业。底盘平台续航参考：空载续航 ≥10 h、满载约 6 h。

电池系统还需配套电池管理系统（BMS），负责单体电压均衡、充放电保护、温度监测与 SOC 估算。

3.2 驱动与行走系统

伺服电机作为驱动轮与清洁机构的精密动力源。驱动电机负责行走与转向，清洁电机独立驱动盘刷/滚刷/吸水扒，两套动力解耦，可分别控制转速与启停。伺服电机运行平稳静音，这对家用 H1 与医院/写字楼等噪音敏感场景尤为重要。

3.3 传感配置

全系标配：3D 多线激光雷达（H1/U75 ×1，X150 ×2~4）、相机（视觉感知补充，识别路面、行人与环境细节）。单雷达方案可“省掉单线雷达、深度相机、超声波雷达、防跌落传感器”；可选配前后双雷达 + 深度相机 + 超声波雷达，实现 360° 无死角感知。这一“单雷达精简配置 + 可选多传感器冗余”的架构，是产品在成本与安全性之间的工程平衡。

3.4 主控与通信

控制器是 SLAM 建图导航、路径规划与任务调度的核心。开放 ROS 接口（Robot Operating System），便于二次开发与上层应用集成——这是面向集成商与开发者的关键能力。顶部屏幕可视化交互，实时显示建图、定位与作业路径及运行状态。

3.5 平台开放与开发生态

开发者入口提供 SDK 文档、开发者工具与资料下载；TobotAI 同时提供 Tbot 机器人研发平台与双臂轮式人形机器人等产品线，清洁底盘作为其移动机器人技术栈的落地场景之一。对集成商而言，这意味着清洁机器人的运动控制、SLAM 建图、任务调度模块均可通过标准接口被上层应用调用；对科研与教育用户，开放 ROS 接口便于算法验证与课题开发。

四、算法与软件优势

4.1 SLAM 导航栈

导航栈整体流程：激光点云采集 → 帧间配准与地图匹配（定位）→ 全局路径规划（基于已建地图的任务路线）→ 局部避障规划（实时绕行动态障碍）→ 底盘运动控制（速度指令下发）。TobotAI 自研 3D 多线 SLAM 导航算法栈即实现上述闭环，并针对地下停车场等无卫星封闭场景做了稳定性优化，可在地下停车场等无卫星封闭场景稳定运行。

4.2 路径覆盖规划（弓字形全覆盖）

清洁机器人的核心路径规划问题是“全覆盖路径规划”（Coverage Path Planning, CPP）。主流实现方式为弓字形（boustrophedon）往复式：机器人沿作业区某一方向平行往返，相邻行间距等于清洁宽度，保证区域无遗漏覆盖；到达边界后 180° 转向进入下一行。产品支持“预设路线循环清扫、沿边贴边清扫”，即是弓字形全覆盖加沿边模式的组合。

路径规划在工程上分为全局规划与局部规划两层：全局规划基于已建地图与任务区域，生成弓字形覆盖的全局路线（常用 A*、Dijkstra 等图搜索算法）；局部规划（如 DWA 动态窗口法、TEB 时间弹性带）则在全局路线上实时调整速度与转向，绕开动态出现的行人、车辆与临时障碍物。两层协同既保证覆盖率，又保证通行安全。

4.3 避障与贴边

智能避障能力：识别车辆、立柱、行人、路障等动静态障碍物，自主绕行，人车混行环境安全通行；顶部雷达可识别凹坑、电线水管、车位停车限位，支持延边行走。贴边清扫通过将清洁机构向边缘侧伸出或精确控制机器人沿墙距离，消除墙边清洁盲区——这是人工清洁与低端扫地机常见的短板。

4.4 远程调度与运营

产品支持“自动回充”“无人值守持续作业”“可视化交互”，并支持无人自主作业与人工驾驶双模式切换。远程调度平台、多机协同调度、运营数据看板等更上层的 SaaS 能力可按场景配置，具体以正式报价为准。

4.5 安全设计

清洁机器人在人车混行环境作业，安全是工程设计的底线。移动清洁机器人的安全设计通常包括：多传感器冗余避障（激光+视觉+超声/碰撞条）、障碍物分级响应（远距离减速、中距离绕行、近距离急停）、急停物理按钮、声光警示灯与语音提示、下坡/跌落检测、限速模式（室内低速、室外按路段限速）。TobotAI 支持“人工驾驶双模式”，即在异常或接管场景下可切换为人工驾驶。

五、核心参数表

下表为三款清洁机器人核心参数；尺寸、载重、电池容量与清洁模块可按场景 ODM 定制，最终以正式报价为准。

参数项	Tbot-Clean-H1	Tbot-Clean-U75	Tbot-Clean-X150	Tbot-Clean-X100
定位	家用·室内扫拖一体	商用·洗地吸水一体	室外大场景·无人驾驶清扫	室外园区·工厂道路自动驾驶清扫
尺寸(长×宽×高)	约 400×350×280 mm	约 950×750×1150 mm	约 2200×1100×1600 mm	约 1100×800×1200 mm

重量	约 15 kg	约 180 kg	约 680 kg	约 200 kg
电池	磷酸铁锂 21.6V 12Ah	磷酸铁锂 48V 80Ah	三元锂/磷酸铁锂 72V 150Ah	磷酸铁锂 24V 72Ah
清洁宽度	320 mm	600 mm	1200 mm	1000 mm
工作效率	约 200 m²/h	约 1800 m²/h	约 12000 m²/h	约 4000 m²/h
3D 多线激光雷达	×1	×1	×2~4	96 线 3D ×1
充电方式	自动回充 + 直充	自动回充 + 直充	自动回充 + 直充	自动回充 + 直充
底盘形态	双驱差速/可扩展全向	双驱差速	双驱差速	双驱差速（可伸缩折叠扶手）
ROS 开放接口	支持	支持	支持	支持

六、应用场景

6.1 家庭与小型办公（H1）

H1 整机约 15 kg、清洁宽度 320 mm、作业效率约 200 m²/h，轻量紧凑，适合家庭、公寓与小型办公空间。扫拖一体、自动回充、静音作业是其核心卖点。

6.2 商超/写字楼/医院/地下车库（U75）

U75 约 180 kg、清洁宽度 600 mm、作业效率约 1800 m²/h，面向地下停车场、大型商超、写字楼、医院、车间厂房。洗地吸水、污水回收、自动循环作业，替代多名保洁人力。

6.3 室外道路/园区/厂区（X150）

X150 约 680 kg、清洁宽度 1200 mm、作业效率约 12000 m²/h，面向园区人行道、市政道路、厂区道路。2~4 个 3D 多线激光雷达 360° 全覆盖，雨天等恶劣天气可持续作业；支持无人自主作业与人工驾驶双模式。

6.4 选型建议

四档机型的作业效率呈量级递增：H1 约 200 m²/h、U75 约 1800 m²/h、X150 约 12000 m²/h，约为 1 : 9 : 60 的关系。清洁宽度同步递增（320 / 600 / 1200 mm），电池电压平台同步递增（21.6V / 48V / 72V）。这一梯度清晰反映了“家用轻量—商用中型—室外重型”的场景定位。运营方可依据单班次需清洁面积、地面材质（地毯/硬质地坪/沥青）、是否需要洗地吸水、室内外比例等因素，结合选型向导与 ROI 计算器进一步决策。

七、服务、售后与 ODM

多年 Tbot 平台研发积累，历经多代产品迭代验证；高校科研技术成果培育转化；与大型机器人代工厂深度合作，产线规范、品控严格；专业机器人售后服务团队提供实时响应、快速定位与处理；支持外观、结构、硬件、软件、平台一站式 ODM 定制。

参考报价区间：30,000 ~ 180,000 元人民币（按配置而定，具体以正式报价为准）。

公司：上海瞳步智能科技有限公司；地址：上海市奉贤区金海公路 6055 号临港南桥科技城 29 号楼；邮箱：sales@tobotai.com。

附录：免责说明

- 本白皮书不包含任何未公开的认证资质、实测性能数值与落地实绩。

© 上海瞳步智能科技有限公司 保留所有权利。