



开放数据中心委员会
Open Data Center Committee

[编号 ODCC-2022-02002]

数据中心运维机器人技术白皮书

开放数据中心标准推进委员会

2022-09 发布

前言

随着数据中心建设规模逐渐加速，作为算力网络部署的重要环节，人工运维成本会随着数据中心建设数量和服务器部署规模线性增加，使运维成本居高不下。另一方面，人工运维失误导致的设施失效故障长期存在，已成为数据中心运维最大的安全隐患。

智能运维机器人通过硬件+人工智能的结合，一方面解放运维人力，同时提高数据中心的运维安全性，优化了数据中心的运营效率。当前数据中心运维对精细化管理要求日益提高，智能运维机器人的应用也逐渐广泛。但长期以来由于技术手段与系统架构的制约，运维机器人的应用大多集中在辅助巡检。而现场运维操作处理，特别是服务器维修操作与 IT 部件更换，是数据中心现场运维的主要工作。为更好地推动数据中心智能运维机器人技术的发展与系统规范，阿里云联合业内众多合作伙伴，投入大量研发力量，开发并建立了一整套数据中心运维机器人技术体系。

本白皮书将通过对数据中心运维机器人系统解决方案、协同系统方案、维护与使用和应用案例等多个维度进行全面展示，期望推动智能运维机器人在数据中心领域的应用，推进数据中心逐渐向智能化发展。ODCC 始终关注数据中心及其相关前沿技术发展，特联合相关单位共同编写本白皮书。

本规范感谢以下起草人&起草单位（排名不分先后）：

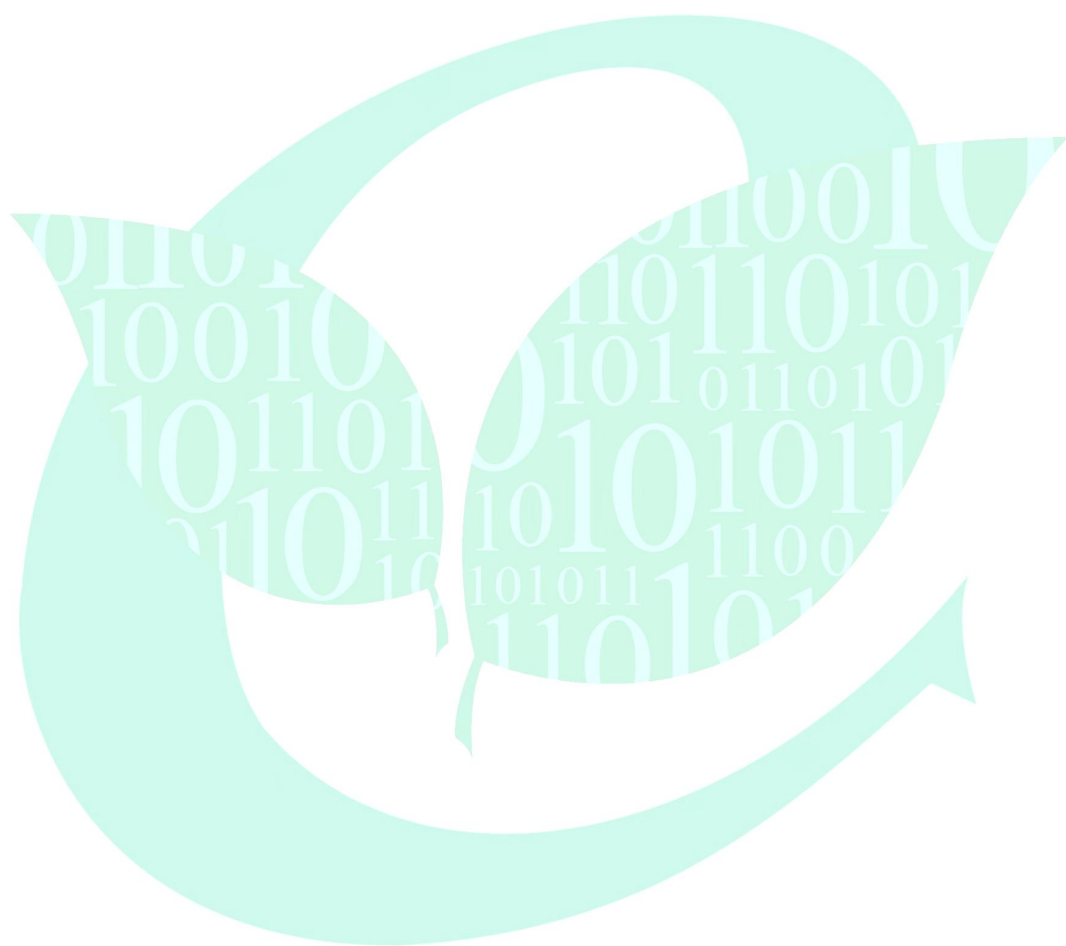
阿里云计算有限公司、中国信息通信研究院（云大所数据中心团队）：

王鑫 陈赞 李润凯 王加龙 赵乃龙 吴美希 姜骁 张晓聪 陈新平 李冲 董晓刚
吕万洲 王沈瑜 施家栋 吴国藩 宫伟文 刘怡舟 杨泽国 吕万洲

目录

前言	I
一、 适用范围	1
二、 规范性引用文件	1
三、 术语、定义和缩略语	2
(一) 术语	2
(二) 缩略语	2
四、 运维机器人系统解决方案	3
(一) 总体架构与功能	3
(二) 运维机器人的业务流	5
(三) 运维机器人本体与主要参数	6
(四) 运维机器人操作系统	8
(五) 运维机器人的操作能力	9
(七) 运维机器人的识别能力	11
五、 运维机器人协同系统方案	12
(一) 安防与门禁系统	13
1. 数据中心安防系统主要包含以下几个方面:	13
2. 门禁系统联动:	13
3. 视频监控系统联动	13
4. 巡更系统协同	14
(二) 自动化梯控系统	15
(三) 智能化资产辅助设备	15

六、 运维机器人系统测试	17
七、 运维机器人系统应用案例	20



www.ODCC.org.cn

一、适用范围

数据中心运维机器人是一套以辅助运维操作为主要目的的自动化机器人系统。相比于现行的数据中心巡检机器人，运维机器人除了需要完成数据中心内的常规巡检任务外，更多的是关注于辅助现场完成更多样、更复杂的一系列服务器运维操作与资产管理工作。

本白皮书将重点介绍运维机器人系统的架构与核心功能、与运维机器人配套的协同系统、运维机器人的维护与使用管理、以及典型应用案例。本白皮书将对数据中心内应用运维机器人系统提供全面的建议与示范。期望通过对该系统的详细介绍，为机器人应用于新建机房提供设计指导，为应用于存量机房提供改造建议。

二、规范性引用文件

本白皮书是以国家相关标准规范为依据，主要参考规范如下：

标 准	名 称
GB/T36008-2018	《机器人与机器人装备 协作机器人》
GB/T35144-2017	《机器人机构的模块化功能构件规范》
GB/T11291.2-2013	《机器人与机器人装备 工业机器人的安全要求》
GB/T32197-2015	《机器人控制器开放式通信接口规范》
GB/T20868-2007	《工业机器人性能试验实施规划》
GB/T12642-2013	《工业机器人性能规范及其试验方法》
GB/T30029	《自动引导车设计通则》
GB/T30030	《自动引导车术语》
GB/T20721	《自动引导车通用技术条件》
GB/T33010-2016	《力传感器的检验》
GB50016	《建筑设计防火规范》
GB 50174-2017	《数据中心设计规范》
GB/T 2887	《电子计算机场地通用规范》
GBJ93	《工业自动化仪表工程施工及验收规范》

GB50231	《机械设备安装工程施工及验收通用规范》
GB7251.1	《低压成套开关设备和控制设备》
SDJ249.4	《电气安装工程电气设备交接试验标准》
IEC439	《低压电气配电盘》
GB14048	《低压开关设备和控制设备》
GB50171	《电气装置安装工程盘、柜及二次回路接线施工及验收规范》
GB9166	《低压成套开关设备基本试验方法》
GB7261	《继电器及继电保护基本试验方法》
GB4942.4	《低压电器外壳防护等级》
GB8191	《包装储运技术》
IEC62619	《储能电池安全标准》

三、术语、定义和缩略语

（一）术语

数据中心（Data Center）：为集中放置的电子信息技术提供运行环境的建筑场所，可以是一栋或几栋建筑物，也可以是一栋建筑物的一部分，包括主机房、辅助区、支持区和行政管理区等。

主机房（Computer Room）：主要用于电子信息处理、存储、交换和传输设备安装和运行的建筑空间，包括服务器机房、网络机房和存储机房等功能区域。

激光雷达（Laser Radar）：以发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统。

协作机械臂（collaborative robot）：一种新型的工业机器人，机器人与人可以在生产线上协同作业。

（二）缩略语

AGV: Automated Guided Vehicle 自动引导运输车

RGBD: RGB-Depth 景深摄像头

OCR: Optical Character Recognition 光学字符识别

WIFI: Wireless Fidelity 无线网络

AP: Wireless Access Point 无线访问接入点

IoT: Internet of Things 物联网

四、运维机器人系统解决方案

数据中心运维机器人系统是一套面向数据中心主机房IT设备维修与资产全生命周期管理的自动化、智能化运维系统。该系统融合了机器人技术、人工智能技术、IoT技术等多方面先进技术，联动了楼宇自动化系统、运维工单系统和资产管理系统，形成了一整套全链路的自动化运维体系。

（一）总体架构与功能

运维机器人部署在数据中心楼内，通过无线局域网（WIFI），联动门禁系统、梯控系统，对接上层工单与监控平台完成硬盘维修更换、设备巡检、随工指引、资产盘点与硬盘回收等运维操作。如图1所示，运维机器人通过运维机器人的操作系统（RCS）与各个IoT设备无线相连接，并完成各个设备与机器人任务之间的调度。RCS作为一个信息汇总与转发平台，向上连接运维管理平台，实现与多个运维平台的信息交互。

www.ODCC.org.cn

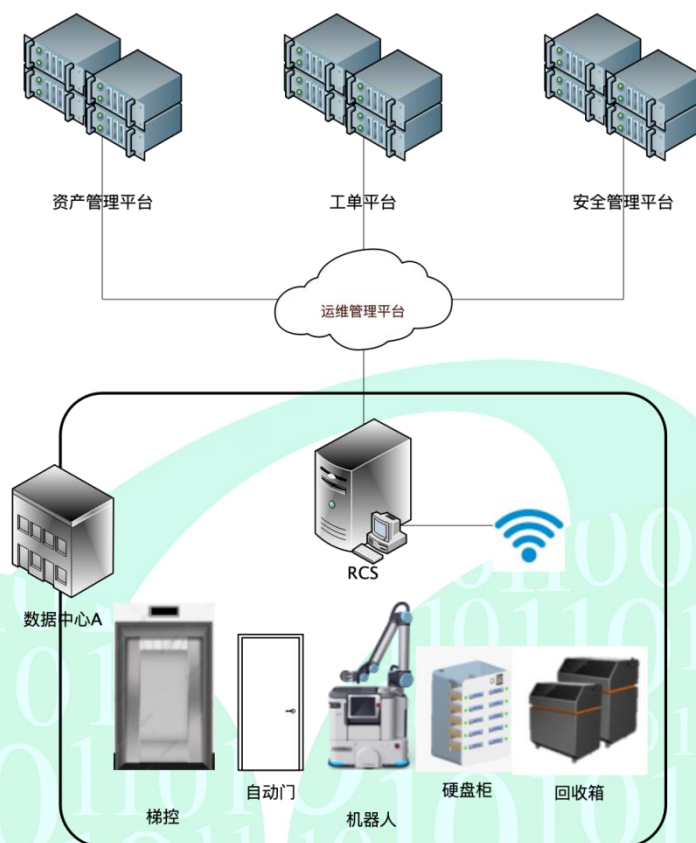


图 1 运维机器人系统架构

运维机器人系统通过联动数据中心内的多个自动化设备，可以实现在楼内多楼层、多房间的移动作业。除了具有现有巡检机器人的主要功能外，通过机器人操作能力的提升与自动化设备的联动，还可以辅助现场人员进行IT设备的自助维护和设备更换。其主要业务功能如下：

- A. 自动巡查：根据系统预设的操作内容、时间、路线等参数信息自动启动并完成巡查任务；
- B. 特殊巡查：操作人员手工设定临时的巡查内容、时间、路线等参数，手动启动巡查任务，机器人自主完成全部任务流程；
- C. 手动操作：操作人员完全接管机器人的运动控制权限，手动操作机器人完成任务；
- D. 音视频对讲：现场与后台值班人员远程音视频对讲；
- E. 后台监控：操作人员通过后台服务器实时监控现场数据和情况；
- F. 安全防护：移动障碍物避碰，杂物识别；

- G. 自主充电：机器人具有电量监测功能，电量低及无任务期间，返回充电座自动充电；
- H. 环境检测：温湿度采集、空气质量（含硫量）采集；
- I. 机柜/服务器/硬盘识别：自动识别机柜编号、服务器编号、服务器U位、硬盘槽位、硬盘编号等信息；
- J. 硬盘更换及回收：机器人自动根据指令联动硬盘柜、自动门、梯控、回收箱等设备，携带新硬盘前往目标位置，找到并更换故障硬盘，并将故障硬盘进行回收处理。
- K. 资产盘点：机器人可根据指令自动对目标机柜进行上架服务器的资产详细盘点，反馈U位、SN等信息。
- L. 服务器拔盘：机器人可根据指令自动对架上服务器进行硬盘拔除操作，并进行资产扫码录入及硬盘自动回收等操作。
- M. 巡检任务主要包含：温湿度检测、盲板缺失检测、漏水与异物检测。

（二）运维机器人的业务流

如图1所示，运维机器人系统联动了硬盘柜与安全箱两类IoT自动化设备。通过机器人本体与IoT设备的联动，系统可以完成数据中心内IT设备的全生命周期管理。如图2所示，以运维机器人硬盘维修更换业务流程为例：

- A. 根据线上资产平台对资产水位控制的分析，新硬盘流入数据中心后，统一存放在硬盘柜内；
- B. 接到线上工单平台的维修指令后，机器人设备联动硬盘柜，取出对应型号的硬盘，放在车体托盘上，开始进行硬盘更换任务；
- C. 到达目标机柜位置后，识别比对机柜码、服务器SN，校验通过后进行旧硬盘拔出；
- D. 更换硬盘后扫描识别旧硬盘SN，并将旧硬盘放置于车体托盘携带；
- E. 机器人完成全部工单后，前往回收安全箱进行回收处理；
- F. 投入旧硬盘后，机器人返回充电桩等待工单；
- G. 安全箱存储硬盘，定期运转至集中产线，进行集中处理。

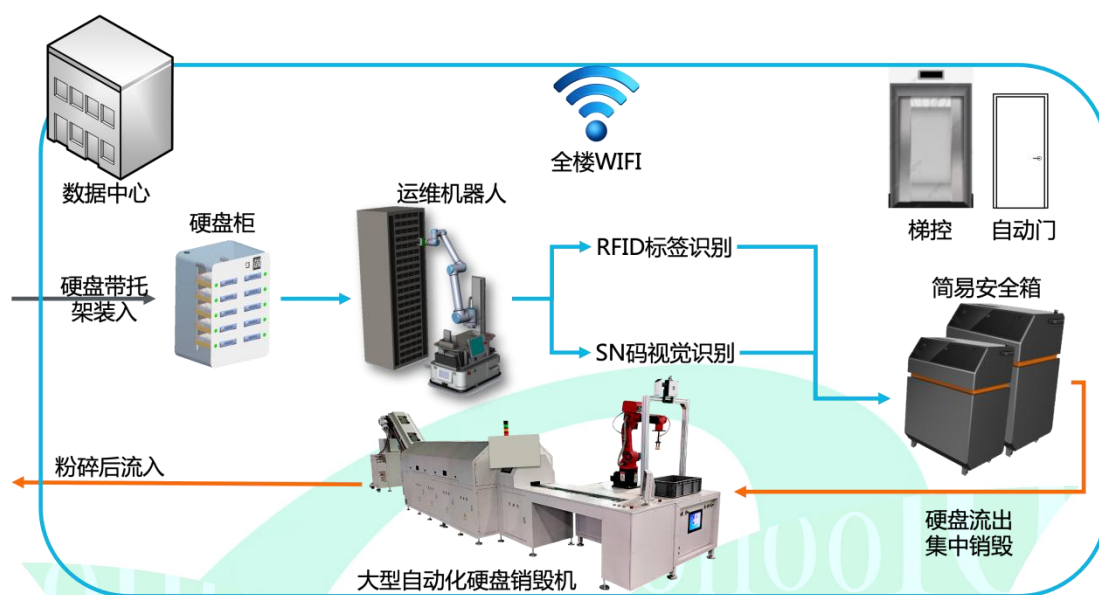


图 2 运维机器人系统硬盘维修业务流

从业务流程可以看出，通过多设备的联动，完成了一块硬盘从进入到数据中心、工作、更换等在数据中心内的全生命流程自动化、无人化的处理。通过运维机器人系统为数据中心提供了准确的、安全的、高效的IT资产全生命周期管理方案。

（三）运维机器人本体与主要参数

数据中心智能运维机器人通过定制集成基于激光雷达的自主定位导航技术、一体化立体视觉与多维力反馈的操作末端、协作型机械臂及多种传感器等实现了数据中心内的自主移动操作能力。如图3，阿里云联合业内多家合作方，通过自主开发的基于优化的机械臂复杂空间轨迹规划算法、基于立体视觉的点云匹配技术和基于深度学习的目标识别算法，实现了机器人系统对核心IT部件自动化、智能化运维保障的能力。

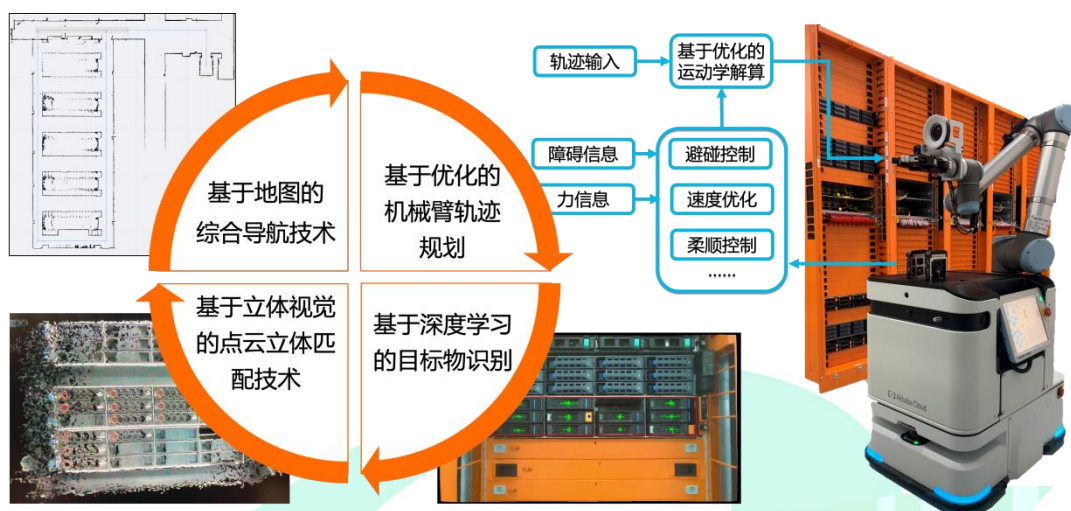


图 3 运维机器人技术框架

如图4，数据中心运维机器人主要包含AGV底盘及其驱动单元、自主定位与导航单元、自主充电和供电单元、六自由度协作机械臂、两指卡爪、六维力感知单位、视觉单元、主控制单元、语音对讲单元、通讯单元、硬盘槽、嵌入式控制器、安全防护单元、温湿度传感器、PM2.5传感器环境监控单元等，构成了完整的数据中心运维机器人本体。

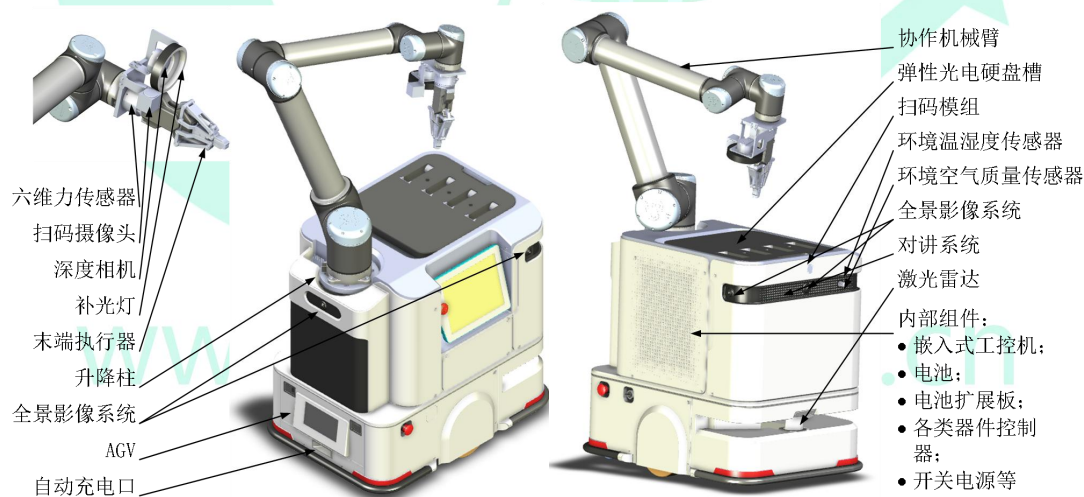


图 4 运维机器人本体组成

运维机器人采用高精度激光导航和定位技术（SLAM），通过RGB摄像头和RGB-D摄像头相结合的方式实现机柜、服务器和硬盘的定位与识别，结合六自由

度协作机械臂、六位力传感器、卡爪等实现新旧硬盘的自主更换，通过360°全景摄像头实现对机器人周围环境的监控，通过温湿度传感器、PM2.5传感器实现环境监控，通过机器人控制系统RCS，用户可以实时观测机器的运行状态和周围环境，制定巡检计划和查看巡检日志，并在必要时对机器人进行远程操控，机器人可以在电量过低时进行自主充电。

数据中心运维机器人本体的主要参数如下：

- A. 可操作U位范围不小于标准机柜2U至42U。
- B. 可运行和操作机房通道宽度不小于1.2m。
- C. 机柜、服务器、硬盘位置识别准确率100%。
- D. SN码识别率100%。
- E. 硬盘更换成功率不低于95%。
- F. 误操作率0%。
- G. 硬盘更换业务全流程用时不超过20分钟。
- H. 运维机器人24小时待机，连续工作续航时间不低于10小时。
- I. 过坎高度不小于10mm；过缝宽度不小于30mm；站点定位精度不低于±10mm；运行速度不低于1.5m/s。

（四）运维机器人操作系统

运维机器人的操作系统（RCS）部署在数据中心机房监控室，可同时支持多台机器人的运维控制工作，通过局域网络与数据中心每栋楼里面的运维机器人通过无线网络通讯，如图5，用户通过交互界面可监控机器人状态、监控机房空气质量、下发运维任务、查看当前任务进展和历史数据、语音交互以及对机器人进行远程操控。RCS系统的主要功能如下，但不局限于以下功能：

- A. RCS具有信息中心，可查看各机器人运行状态及系统告警信息和视频监控信息。
- B. RCS具有任务中心，可展示并查询线上任务信息，并进行手动线下工单发起。

- C. RCS具有控制中心，可远程连接机器人系统并控制机器人系统进行应急处置和故障恢复。
- D. RCS具有设备中心，可访问并管理所关联各自动化设备和传感器。
- E. RCS具有权限管理中心，可管理登录用户权限。

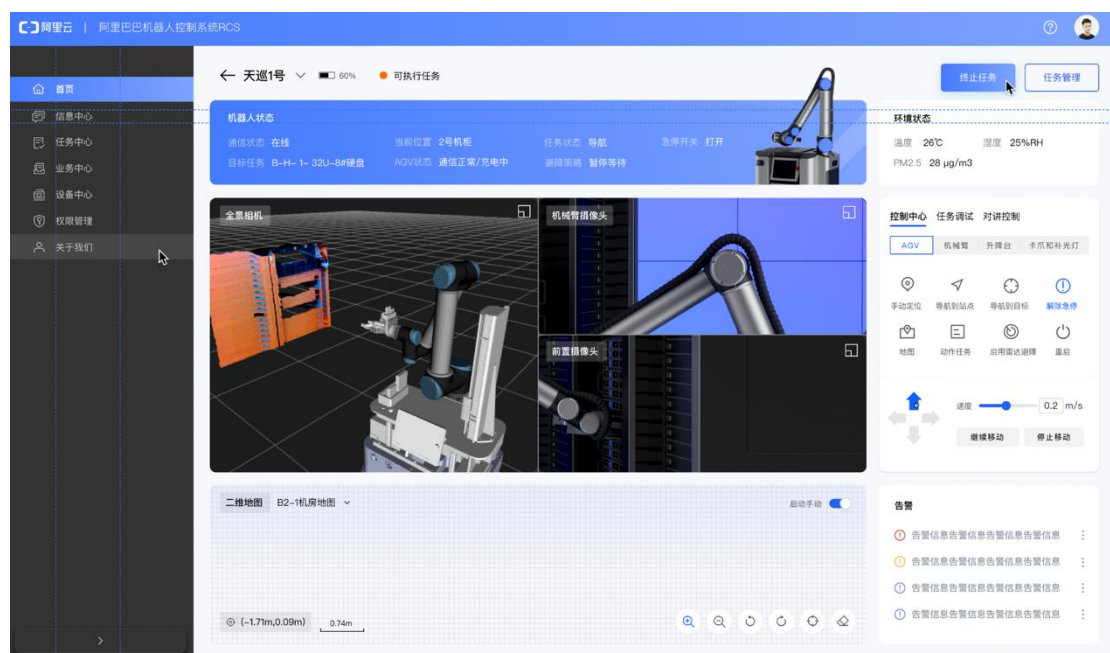


图 5 运维机器人控制系统（RCS）界面

（五）运维机器人的操作能力

数据中心内运行着大量的IT设备，每天运维人员需要及时处理大量的IT设备故障、例行巡检与资产盘点等工作，占据着现场工作运维人员大量的工作时间。运维机器人的开发与引入，重点是关注辅助或替代人工完成相应的运维处理工作。这就需要机器人系统具有精巧的操作能力，能够有效处理按钮操作、插拔操作、卡槽拨动、标签插拔等一系列运维动作。

运维机器人的操作系统设计了逐级放大的架构。最末端采用集成了视-触感知能力的多指执行器，实现精细化的视-触融合操作；中段配备了六自由度的协作型机械臂，实现安全的设备转运动作；机体段采用激光雷达定位导航底盘搭配升降柱，实现机器人大范围的操作与移动。

A. 视触融合的末端执行器

在机器人末端，系统配置了两指卡爪用于IT部件的夹持、操作、点击、拨动等精细操作。两指卡爪是实现运维操作的最基本配置，其开口宽度要满足夹持尺寸的要求，同时夹持力需要达到100N以上，重复定位精度不低于 $\pm 0.03\text{mm}$ 。

末端执行器单元除了基本的夹持操作单元外，还需要精细的位置识别模块。IT部件的更换操作需要较高的定位精度，通常部件与插口的间隙小于单边 0.5mm 。同时由于IT设备的空间位置并不是相对固定和准确的，这就需要设备具有三维空间的识别能力。为此系统增设了在手的RGB-D相机，用于对操作空间的三维尺度感知，为操作与夹持器提供准确的目标物位置与姿态。

由于部件插口间隙很小，而且存在部分部件的接合为紧配合，因此除了视觉上的识别器件外，还必须配置多维的力传感器。力传感器用于感知在接触操作过程中的细微的触碰，从而辅助判断插入状态、按钮按压状态、卡扣的拨动状态等等细微的拟人的力控操作。传感器的测量精度不低于 $0.1\%FS$ ，非线性度不高于 $0.5\%FS$ ，而采样频率不应低于 1kHz 。

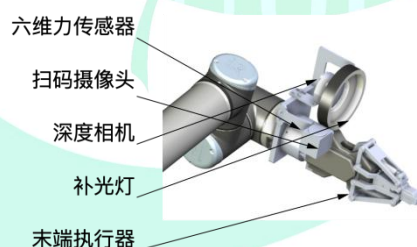


图 6 视触融合的末端执行器

B. 协作型机械臂

运维操作过程中存在多种复杂的动作流，如扫码、抓取、投放等等，而且面对不同U位的不同型号的服务器其操作方向、角度等都有所不同。这就需要具有很高自由度的机械臂来带动末端执行器进行相应的工作。为此，运维机器人系统配置了六自由度的协作型机械臂，在保障复杂运动的需求外，同时具有操

作安全的保障。如图7，运维机器人的协作型机械臂至少需要满足10kg的末端负载，各个关节需要具有 $\pm 360^\circ$ 。



图 7 协作型机械臂

C. 车体与升降柱

运维机器人需要适配整个机柜的操作空间，从地面起向上需要适配至少2000mm以上的空间，这就要求机械臂的操作空间具有扩增功能。本运维机器人在协作机械臂的底座上添加了升降柱，进行竖直方向上对于运维操作臂的作业空间的扩展。同时运维机器人的大范围运维操作需要进行底盘与机械臂的协同运动，譬如IT设备的转运与投放等，要求机器人车体具有自主定位导航功能，同时对运行速度、稳定性、路线跟踪性，以及定位精度。

（六）运维机器人的识别能力

运维机器人在数据中心面对的多种型号和多种形态的设备，机器人不仅需要识别设备的类型、区分部件，还要给出按钮、卡扣等操作点的位置信息。基于机械臂末端搭载的RGB-D相机，运维机器人需要具备较高鲁棒性和很好泛化性的识别能力。

A. IT部件识别能力

数据中心内的IT设备种类众多，每一种设备面板存在多种热插拔部件和按钮，需要机器人进行识别划分。同时由于服务器等设备紧密部署，机器人需要区别划分多台服务器以确保操作正确的IT设备。如图8所示，对于重复出现的IT面板部件机器人需要具有准确的识别划分能力。

运维机器人通过采用计算机图形学、机器学习等方法，对周期性重复出现的特征，利用其图像主方向及其正交方向上分布密度的周期性，实现对IT部件周期性阵列特征的准确、稳定聚类。



图 8 服务器面板部件识别

B. 操作部件的空间位置识别

经过对IT部件前面板的划分与识别后，机器人可以准确的实现在RGB图像中的操作点位的确认，但是RGB图像并不包含空间位置信息。运维机器人在IT部件识别能力的基础上，通过RGB-D摄像头将像素信息与空间位置信息进行匹配，采用一系列的点云处理方法，最终如图9，获得操作点位的准确的空间位置信息，从而指导运维机器人的末端执行器、机械臂及升降柱进行准确的运维动作。



图 9 面板按钮的空间位置识别

五、运维机器人协同系统方案

运维机器人作为运行在数据中心内的自动化系统，为保障其在楼宇内的自动化运维，需要一系列的楼宇自动化改造与多款智能设备的配合，从而最大限度的实现与发挥运维机器人在数据中心内的运行效率与自动化程度。

（一）安防与门禁系统

1. 数据中心安防系统主要包含以下几个方面：

- 1) 门禁系统
- 2) 视频监控系统
- 3) 巡更系统

2. 门禁系统联动：

- 1) 为确保数据中心的物理安全防护，所有机房包间出入口均安装有门禁系统，且进出需刷卡+密码或生物特征识别（指纹或人脸）双重认证，能够有效的防止代刷、盗刷等现象，提高安防系统的可靠性，保护资产安全。
- 2) 通过后台 API 端口对接，将安防系统管理平台与运维机器人操作系统（RCS）双向互通，实现基于工单的自动授权，赋予运维机器人进入特定包间的权限。运维机器人通行后，如未及时关门，超出一定时间后则触发报警，由门禁系统推送告警信息到 RCS，远程指挥运维机器人将门关闭；如出现人员尾随进入，则同样触发报警，必要时可呼叫安保中心安排人员到现场进行处置。
- 3) 当网络产生波动或系统故障时，可能导致无法下发权限，此时系统可下发动态超级密码，运维机器人使用密码进入包间。密码使用后则自动刷新，防止多次使用。同时推送故障信息到门禁系统，立即安排工程师到场维修。

3. 视频监控系统联动

- 1) 通过安装各类监控设备实现 数据中心 7*24 小时无死角覆盖，实时监控包间、走廊、安全通道、出入口、等区域安全状况。摄像机均采用红外模式，具有优良的夜视性能和较高的视频分辨率，在低照度甚至 0Lux 照度的情况下具有良好的成像性能。本次采用的警戒相机，具有

视频分析识别报警功能，能够对于满足条件的非法活动目标进行区分自动报警，为及时处警提供依据。

- 2) 借用阿里云视觉计算服务 Visual Compute Service（简称 VCS）实现全量告警信息上传及自动分析。VCS 提供视觉数据接入、AI 算法快速集成、AI 算法训练、计算资源调度的能力，通过 API 支撑开发业务应用，同时帮助开发者提升视觉 AI 创新效率，专注核心业务创新。



- 3) 视频监控系统集成在安防管理平台，与门禁系统进行联动，可自动调取事件发生前后特定时间段录像，方便后台复核。同时可实现与运维机器人双向对讲通话，实时显示运维机器人行动路线和操作步骤，与系统预设 SOP 或操作指引进行对比较验，确保操作规范，避免误操作带来的安全风险。

4. 巡更系统协同

- 1) 为保障数据中心安全，及时发现潜在风险隐患，需定时对关键区域进行巡视，通过运维机器人的布局使用，替代传统安保巡检，走向以人工智能技术为依托的“智能巡检”及“立体巡检”。
- 2) 运维机器人实现全覆盖、全识别无人化自主巡检，实时监测环境异常，辅助人工运维巡检。满足自主采集、运算、诊断、精准识别、异常报警等功能。弥补了人工在收集数据发生遗漏导致分析错误的状况出现。当有异常出现时，机器人可以迅速报警，推送信息到后台系统，及时安排人员到场处理。

（二）自动化梯控系统

为了扩大运维机器人的工作范围，满足运维机器人在不同楼层的工作，需要数据中心电梯能够辅助运维机器人上下楼层。通过在现有电梯加装自动化梯控系统，将电梯控制接入数据中心运维机器人控制网络中，从而通过机器人控制系统统一调度运维机器人与电梯的运行，实现机器人在多楼层的无人化运维工作。

电梯的自动化改造对电梯轿厢地面平面与楼层平面的差值需要做到10mm以下，并且轿厢与楼层的缝隙不能超过30mm，以满足运维机器人可以稳定平稳的进出。

（三）智能化资产辅助设备

运维机器人作为数据中心内自动化操作的核心设备，完成全部IT部件的运维操作，链路上还需要有多种智能化设备进行配合。如图2，以IT部件运维更换为例，我们需要存放新部件的智能硬盘柜和存放部件的智能安全箱来完成整个运维链路的资产管理。

A. 智能硬盘柜

智能硬盘柜是面向机器人/资产管理员存取的智能IoT设备。具有上下位Android控制器，用于设备配对连接及数据通讯，通过物联网平台实现数据上传，下载与远程控制。

如图6，针对数据中心运维机器人故障部件更换流程中涉及的新部件取出环节和异常情况的部件暂存环节，提供了可同时面向机器人和资产管理员操作的部件存取柜。硬盘柜一方面接收人工装填的新部件，一方面与机器人对接并自动吐出相应新部件，同时当机器人IT部件更换故障时接收来自机器人/人的退回IT部件，并向人工吐出相应工单IT部件。智能硬盘柜能够接受线上工单，进行SN与槽位的检索，绑定或解锁SN与槽位的对应关系，并自动识别部件槽位取出或放入状态。全部操作均有线上工单系统进行统一调度和管理，从而实现资产的有效利用、安全管理和全流程追踪。

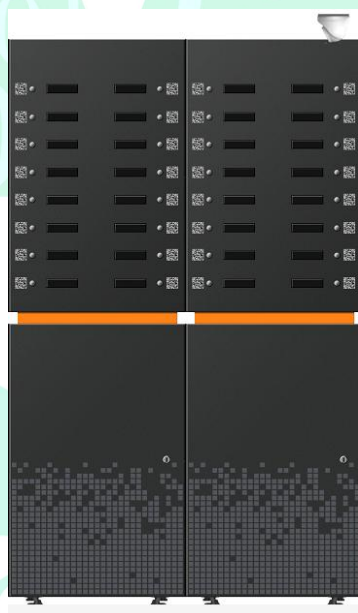


图 10 智能硬盘柜

B. 智能安全箱

智能安全箱是面向机器人/资产管理员投放IT部件的智能IoT安全存储设备。针对数据中心运维机器人故障IT部件更换流程中涉及的故障IT部件回收环节，智能安全箱可同时面向机器人/资产管理员进行故障IT部件更换操作后的部件回收和存储操作。

如图7，安全箱包含上、下位Android设备，用于设备配对连接及数据通讯，通过自动扫码获取每一个设备的SN信息并存入上位机中，再通过物联网接口将数据上传。该设备功能包括安全认证、用户管理、网络管理、设备管理、数据对接等部分。通过物联网平台的控制，统一调度机器人与安全箱的操作，保证安全箱的控制系统高可用性。智能安全箱采用先进智能制造理念，集成的设备存取装置，从拾取、扫码到存放，全部自动完成，保证设备及系统的高效使用。



图 11 智能安全箱

智能安全箱具有人工和机器人操作两种模式：（1），资产管理通过人脸识别登录设备，选择扫码入箱，将硬盘按照流程提示依次放入安全箱内。根据工单完成硬盘SN的信息比对。如有信息不符，退出硬盘并通知人工处理。如信息无误，则硬盘自动投入安全箱内封存；（2），运维机器人通过RCS系统与硬盘柜通信对接，启动安全箱后，将硬盘按照流程提示依次放入安全箱内。根据工单完成硬盘SN的信息比对。如有信息不符，退出硬盘并通知人工处理。如信息无误，则硬盘自动投入安全箱内封存。

六、运维机器人系统测试

运维机器人的测试按照时间节点与测试地点的区别，共分为RC1-RC5级，分别针对机器人的硬件、软件、场景进行详细的测试，只有经过详细可靠的测试论证，机器人才可进入包间进行操作。

详细的分级与说明如下：

测试分级	阶段说明	测试地点
RC1	机器人硬件厂验	工厂
RC2	机器人单机调试	工厂
RC3	机器人工艺检查	机房
RC4	机器人系统测试	机房
RC5	机器人场景演练	机房

A RC1-机器人硬件厂验

在RC1-机器人硬件厂验阶段，应当充分验证机器人的传感器、硬件性能、安全性等方面是否符合要求，在条件运行的情况下，可进行部分极限性能压力测试，确保机器人的硬件可靠性。

RC1阶段主要包括了核心零部件测试、传感器校准测试、部件安全测试（接地电阻与保护接地、绝缘电阻、机械臂极限位置验证）、环境可靠性测试（震动测试、防尘防水等级测试）、运行测试（压力、功率测试）。

B RC2-机器人单机调试

在RC2-机器人单机调试阶段，应当充分验证机器人的基础功能块、软件平台、核心算法是否匹配，在工厂内运行时，可进行基本的手动/自动操作，执行相应的命令。

RC2阶段主要包括了底盘调试、升降柱调试、机械臂调试、末端执行单元调试、平台通信调试、基础功能调试、电磁兼容测试、机器人整体安全测试（运动安全、掉电保护、防碰测试）、干扰测试。

C RC3-机器人工艺检查

在完成RC1与RC2阶段后，机器人在工厂已完成组装、调试工作，发往机房现场。第三阶段的工艺检查，主要针对机器人到场后的外观检查，以及资料核对等，完成机器人初上电及基础功能验证，为后续系统逻辑测试做好准备。

RC3阶段主要包括了进场前置检查、机器人BOM清单核对、图纸一致性核对、机器人参数核对、外观检查、机器人核心部件安装检查、内部走线工艺检查等测试内容。

完成以上测试后，机器人应当具备初次上电条件，可以进行上电功能测试及系统测试步骤。

D RC4-机器人系统测试

在完成工艺检查后，机器人应当已具备上电和功能操作能力，可以在机房现场进行功能模块的验证以及操作的验证，需要注意的是，由于工厂已完成了大部分功能的调试，但在机房现场，与工厂环境不同，仍需要在真实环境下进行一次测试工作，现场应提供真实测试环境，包括服务器与机柜，硬盘安全箱等。

RC4阶段主要包括了充电桩测试、门禁电梯联动测试、底盘功能测试、机械臂功能测试、升降柱测试、末端夹爪测试、整体性能测试、正常场景逻辑/故障场景测试。

在完成RC4阶段测试后，机器人应当可实现手自动的操作，在机房环境下完全具备功能实现能力。

E RC5-机器人场景演练

在完成以上测试内容后，需要进一步验证机器人可靠性与安全性。在RC5阶段，重点进行大量重复性操作与校对，确保机器人在不同工况、不同场景下的功能可靠性。

RC5阶段包括了机器人功能重复性测试、长期操作稳定性/温升测试、不同工况/不同机房环境下机器人操作准确性测试。

总结

经过了以上详细充分的测试，运维机器人在现场才可以安全运行，为现场运维人员带来可靠稳定的服务。

七、运维机器人系统应用案例

阿里巴巴杭州仁和数据中心位于浙江省杭州市余杭区洛阳路，占地面积约12.5万平方米，主要包括数据中心、通信机房等。阿里云数据中心智能运维机器人系统具备硬盘更换和回收功能，于2021年至今部署在B栋机房楼作为试运营样机。

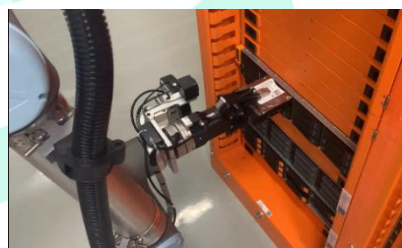
项目于2021年10月部署并投入使用，B栋机楼总建筑面积23674.13平方米，共计1012个间距1.8m的机架。



(a) IT部件取用

(b) IT设备维修

(c) IT部件回收



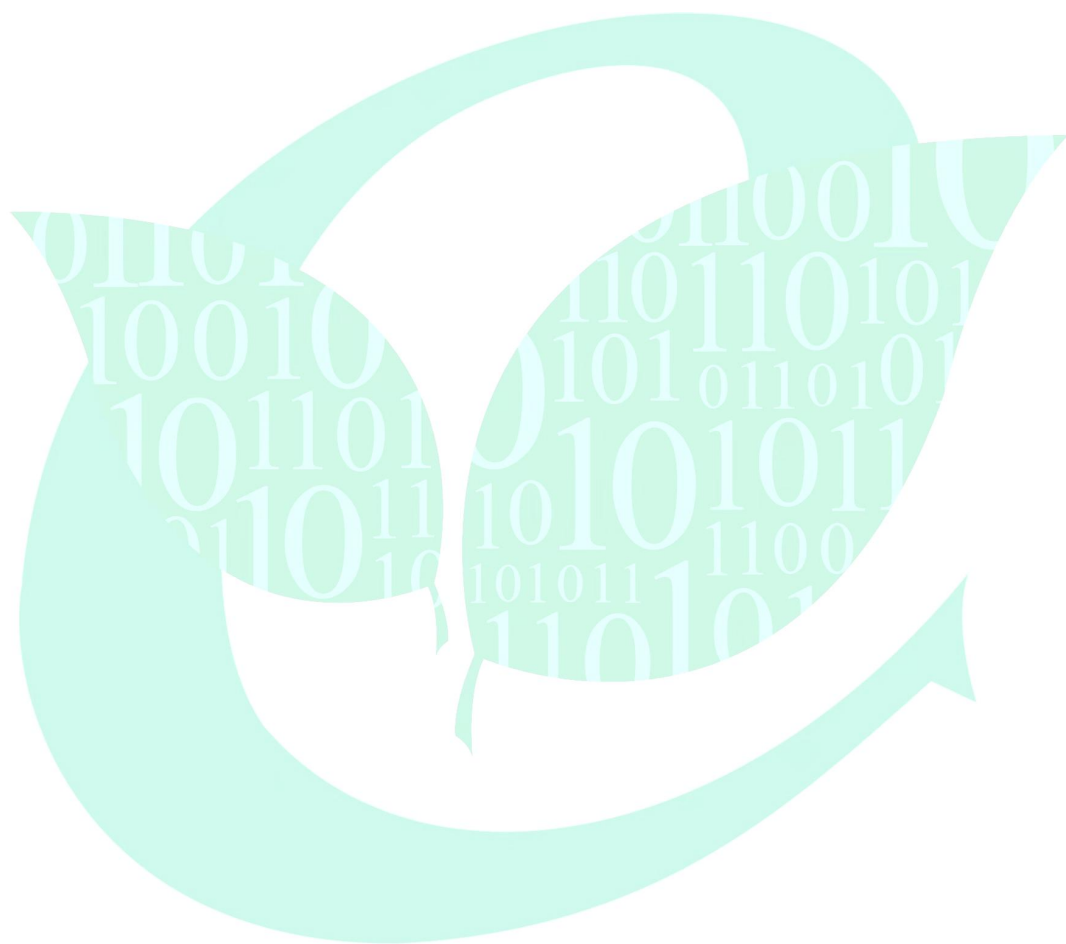
(d) IT设备更换

图 12 现场应用图片

数据中心智能运维机器人通过无线网络接入数据中心应用平台，具备了自主巡检、环境监测、异常事件智能预警、硬盘更换和回收等功能，解决了数据中心无人值守、数据安全的刚需痛点。

自项目投入使用以来，机器人运行稳定、可靠、高效，为仁和数据中心的管理团队和运维技术人员进行了多轮产品技术培训，该项目为运维机器人在仁

和数据中心的普及树立了良好的标杆，起到了引领数据中心行业应用机器人的示范作用。



www.ODCC.org.cn



ODCC服务号



ODCC订阅号