



中国移动
China Mobile

研究院
CMRI

5G⁺⁺

防疫机器人 研究报告

中国移动通信研究院

2021

前言

新冠疫情的爆发引发了人类对于更安全、更高效的防疫措施的思考。防疫机器人作为疫情时代的 AI 智能产物，在疫情面前起到为人类生产生活提供基础保障和协助的作用。但当前的防疫机器人普遍只能代替用户完成简单的流程化工作，对于复杂场景的智能判断和适应能力仍然有待提高。中国移动致力于联合产业伙伴，分析研究防疫机器人的典型应用和技术演进趋势，加速推进防疫机器人产业的快速发展。

本研究报告旨在提出中国移动对于防疫机器人的发展趋势、典型应用的分析，并结合防疫机器人的现有技术能力、测试用例，提出防疫机器人的技术能力演进趋势，希望能够对业界研究防疫机器人产业的发展及技术趋势提供指导及参考，共同推动防疫机器人产业的发展。

本研究报告的版权归中国移动所有，未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本建议之部分或全部内容。



CONTENTS 目录

1 概述

2 防疫机器人发展背景与需求

- 2.1 防疫机器人发展的驱动因素
- 2.2 防疫机器人基本功能及分类

3 防疫机器人典型应用分析

- 3.1 辅助医疗应用场景概述
- 3.2 清洁消毒应用场景概述
- 3.3 配送应用场景概述
- 3.4 巡检应用场景概述
- 3.5 防疫机器人关键能力测评

4 防疫机器人技术演进分析与未来展望

- 4.1 防疫机器人现有技术分析
 - 4.1.1 环境感知和定位导航技术
 - 4.1.2 运动控制技术
 - 4.1.3 人机交互
 - 4.1.4 机器视觉
- 4.2、5G通信技术推动防疫机器人技术架构创新
 - 4.2.1 云端大脑技术优势
 - 4.2.2 端-边-云协同技术架构
 - 4.2.3 5G确定性网络助力机器人云化发展
- 4.3、防疫机器人产业发展及未来展望

01

概述

随着新冠疫情的爆发以及防疫常态化工作的开展,使得防疫机器人在各行各业大显身手。从预测病毒扩散模型到指导疫苗研究,从人脸识别测温到云端智能清洁、消毒、巡逻,甚至给特殊人员送饭送药、提供导诊服务,防疫机器人无处不在地发挥着自己的作用,也让人们看到了这个新兴行业的发展潜力。目前,防疫机器人是在原有的智能服务机器人基础上改造提升,进行疫情防控的智能服务机器人。但当前的防疫机器人普遍只能代替用户完成简单的流程化工作,对于复杂场景的智能判断和适应能力仍然有待提高。

据统计,2019年中国服务机器人市场规模为22亿美元,约占全球25%市场份额,预计2021年我国服务机器人市场规模有望接近40亿美元,市场潜力巨大。2020年,中国移动研究院与中国移动国际公司在启动了针对防疫机器人的研究和测评工作,结合防疫工作的无人化作业需求制定测试用例,协同多家机器人厂商进行防疫机器人的功能和特性测试,构建物联网机器人终端产品库。通过分析防疫机器人的现有技术能力,结合测试用例结果,创新探索5G通信技术赋能防疫机器人产业的技术架构领域,刚性需求驱动带来应用场景下沉,防疫机器人产业将进一步向各行业深度渗透。伴随着5G SA网络逐步成熟,云边端协同能力进一步增强,5G云化机器人在1-2年内有望成为第二批商用落地的5G应用,将为疫情防控和复工复产做出更多贡献。

防疫机器人产业将成为未来全球防控疫情常态化工作开展的重要支撑,但由于防疫机器人的研发耗时较长,面对突发疫情,目前各大厂商主要通过改造现有机器人以适应市场需求。中国移动践行“创新驱动发展”的理念,希望与各产业合作伙伴共同推进防疫机器人的发展及产业成熟。未来防疫机器人产业的发展,应加强防疫机器人技术研究和演进趋势分析,推动防疫机器人的技术架构创新和产业生态圈建设。中国移动将持续深入分析防疫机器人产业趋势变化,借助运营商的云网融合优势,为防疫机器人等各领域机器人的模式创新和应用推广提供技术基础,助力各行业的数字化转型升级。

02 防疫机器人的发展背景和需求

在新冠肺炎肆虐的背景下，服务机器人被改造升级为专业的防疫机器人。服务机器人是指用于非制造业并服务于人类的机器人。服务机器人涵盖的范围非常广泛，包括医疗、物流、农业、商业、民用等领域，集成人脸识别、红外测温、路径规划、网络通信等技术，可通过数据采集、分析和计算与人类进行协作，实现配送、清扫、安防、陪伴等多样化、复合型功能。服务机器人将成为手机终端、电脑以外重要的人机交互以及信息服务载体，市场潜力巨大。2019 年中国服务机器人市场规模为 22 亿美元，约占全球 25% 市场份额，预计 2021 年我国市场规模有望接近 40 亿美元。前端产业研究院-《2020 中国防疫机器人发展报告》总结了 2014-2019 中国服务机器人销售额及增长率情况，如图 1 所示。

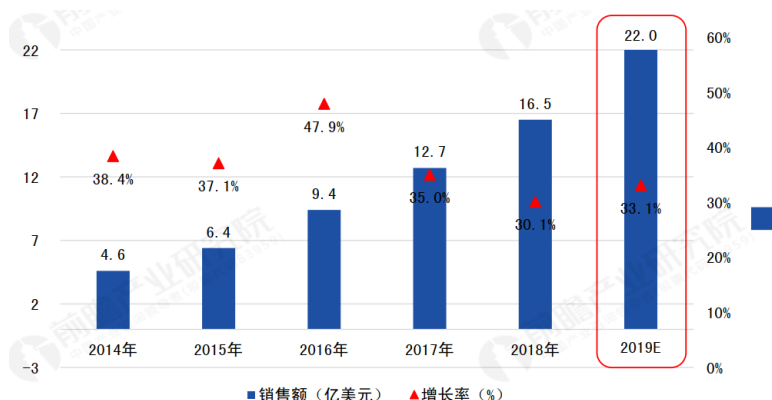


图 1.2014-2019 中国服务机器人销售额及增长率情况（单位：亿美元，%）

防疫机器人为在原有的智能服务机器人基础上改造提升，用于疫情中医疗、配送、巡检、家用等领域，具有测温、识别口罩佩戴情况、健康码识别、自主返回充电、远程对讲与语音播报等功能，协助医院、学校、社区等公共场所进行疫情防控的智能服务机器人。防疫机器人应用在医疗、配送和巡检的最前线，在赋能传统服务行业的同时，也为 5G、云计算、AI 等技术从供给侧和需求侧打开空间。刚性需求驱动带来应用场景下沉，防疫机器人产业将进一步向各行业深度渗透。随着后疫情期间医疗康复、物流配送、清洁消毒、安防巡检等大量服务岗位不断释放，防疫机器人的需求必然大幅增加，未来防疫机器人在医疗机构、公共场所的部署及应用将进一步普及。

2.1 防疫机器人发展的驱动因素

政策、产业基础和技术驱动给防疫机器人带来了快速发展期。政策方面，在疫情期间，工信部发布《关于运用新一代信息技术支撑服务疫情防控和复工复产工作的通知》，中央网信办联合工信部和卫健委发布《新冠肺炎疫情社区防控工作信息化建设和应用指引》，均强调要支持运用互联网、大数据、人工智能等新技术服务疫情监测分析、追踪患者、构建社区防控平台等，对疫情开展科学精准防控，为防疫服务机器人的应用指明方向。据中国人工智能产业发展联盟统计数据，截止 2020 年 3 月 20 日，防疫机器人产品的使用数量居 AI 防疫产品前三。

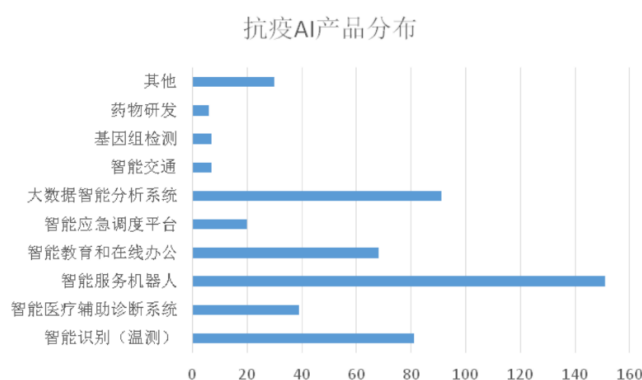


图 3.抗疫 AI 产品分布

(来源：中国人工智能产业发展联盟)

从产业基础上来看，疫情过后普通消费者的健康防护意识明显提高，“无接触+”不仅是防疫要求，更是民生需求。医疗领域中在线问诊、远程医疗等迅速发展，机场、实体店等公共区域的无人化服务等，均对防疫机器人需求大大增强。

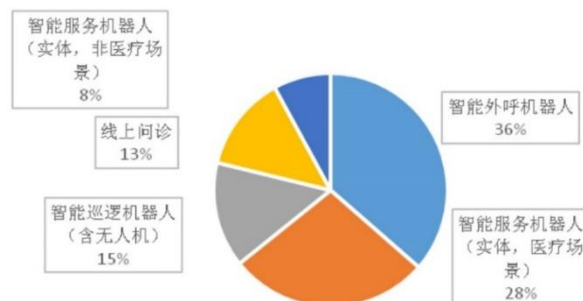


图 4.不同防疫机器人在疫情中的应用情况

(来源：中国人工智能产业发展联盟)

从技术演进角度分析，机器人技术的迭代使防疫机器人具备更加灵敏轻便的感官和运动系统，配合硬件的更新一定程度提升了防疫机器人对复杂环境的适应能力，为落地提供了基础；5G 通信技术的商用，为防疫机器人与云端大脑实现敏捷互联、远程交互、数据共享、智慧决策等提供了可能性；人工智能技术的多方创新也大大提升了防疫机器人智能化程度。深度学习、语义识别等方面的发展，使其具备了基本的语言沟通能力、图像识别等能力，还赋予了情感交流和强大的逻辑计算能力，拓宽了防疫机器人的应用场景和服务模式。

根据 2020 年第三届“绽放杯”5G 应用征集大赛统计，机器人已经成为需求最为旺盛的六大通用型 5G 行业终端之一，机器人远程控制将成为下一步发展的重点应用场景。在“绽放杯”提出的 5G 应用三步走发展路径中，伴随着 5G SA 网络逐步成熟，云边端协同能力进一步增强，5G 云化机器人在 1-2 年内有望成为第二批商用落地的 5G 应用，将为疫情防控和复工复产做出更多贡献。中国移动以 5G+AICDE 为核心，以市场化手段推进 5G 行业终端和应用产业链成熟，设立规模达 300 亿元的 5G 联创基金，完善 5G 应用生态。在疫情期间，中国移动以信息化手段助力科技战疫，通过自主研发 5G 远程会诊推车、云视讯等产品为抗疫一线提供了有力支撑，并且通过 5G 防疫机器人实现了红外体温监测、佩戴口罩智能识别等功能，助力公司在 CHBN 领域实现信息化服务转型，为打赢抗“疫”攻坚战持续贡献力量。



5G 远程会诊推车



5G 云端智能机器人



云视讯支撑协同会诊



5G 红外体温检测

图 5.中国移动在疫情期间提供的 5G+服务

2.2 防疫机器人基本功能和分类

当前全球新冠肺炎疫情的防控面临无症状感染者及轻症病例识别管控难度大、复工复产后人群聚集和密切接触风险高等挑战。防疫机器人作为疫情下“机器换人”需求的产物，具备测温、远程对讲、语音播报、物资配送、医疗导诊等功能，可协助人类进行病房检查和施药、安防巡逻、消毒清洁和实时测温筛查新冠疑似症状人员等工作，提高防疫效率并降低人员接触风险。机器人在防疫工作中发挥的主要作用为：辅助医疗、公共消毒和日常服务。根据防疫机器人发挥的主要作用，可将防疫机器人分为不同种类（如图 2 所示）：

- 1、辅助医疗机器人：在治疗过程中，医护人员协助机器人进行检查、施药，无需进入隔离病房，能够更好地减少被传染的风险。
- 2、清洁消毒机器人：机器人按规定路线和时间段自主完成清洁和消毒任务，其消毒方式通常为消毒水雾化或者紫外线消毒，数字化呈现作业区域，可满足复杂场景下的消毒需求。
- 3、配送机器人：在一些定点隔离区域，配送机器人取代服务人员，担当起了为隔离人群送餐、送物的重任。
- 4、巡逻机器人：在人流密集区域，机器人自动巡逻，监测人员体温、进出场所、口罩佩戴等情况，减轻安保人员现场巡逻的负担。



图 2.防疫机器人分类介绍

2.3 防疫机器人当前发展挑战

防疫机器人存在价格高、智能化程度低、隐私安全缺乏保障等问题，影响了机器人产业的规模化发展。防疫机器人当前面临的挑战主要表现在如下三个方面：

1、价格高

防疫机器人价格高的问题，究其原因，主要是机器人本体为服务机器人改造而来，其价格即为服务机器人成本+改造成本。两项成本叠加，造成防疫机器人价格居高不下。且疫情初始时期，防疫机器人所用到的黑体测温相机等配件产能有限，供不应求，至使价格进一步居高不下，相信随着疫情常态化的趋势发展，各企业会有针对性的投入开发专用防疫机器人，更合理规划防疫功能，剔除除了防疫功能外的不必要组件，从而降低防疫机器人成本，具备更友好的市场性。

2、智能化程度低

现有的机器人采用了人机交互、自主导航等技术，但机器人的能力并不能完全满足用户的期望，表现在：机器人能力局限于单一业务场景；构建地图不够精准，尤其在室外环境下，大多不是实时构建地图；在路径规划和避障上，规划出最有效路径也存在一定技术挑战。机器人要在实际工作中真正替代人类的劳动力，除了必须具备感知能力，还要拥有理解和决策的能力，以及相关业务场景下的知识图谱的支撑，使其能够优化决策，自主高效的实施工作。

3、数据安全问题

随着机器人的应用领域越来越广泛,用户的数据安全问题更加凸显。一方面,由于机器人配备了多种传感器,在工作过程中可以采集到视觉数据、语音数据、位置数据等,这些数据涉及用户的隐私信息,均需要得到保护。另一方面,机器人通过用户数据进行机器学习推理得到个性化知识也包含了用户的隐私信息,同样需要得到数据安全保障。

03 防疫机器人典型应用分析

医院、卫生服务中心、街道、火车站、机场等公共机构面临比较复杂的环境。防疫机器人针对以上公共场景主要应用于辅助医疗、清洁消毒、配送、巡检等场景，以下也主要基于这四个典型场景进行分析。



3.1 应用场景一

辅助医疗

3.1 辅助医疗应用

新冠疫情中应用在医疗领域的机器人主要为辅助服务型机器人。辅助医疗机器人主要承担替代医护人员、降低传染风险的作用，其中远程辅诊及咽拭子采样等功能的实用性尤为明显。例如防疫机器人可通过可穿戴设备，远程视频等方式对患者进行远程诊疗，实现医疗资源的有效配置；协助医护人员进行检查、施药，医护人员无需进入隔离病房，能够更好的减少被传染的风险，从源头切断传染源与医护人员的接触；提升生物样本采集的规范性，排除医务人员水平差异导致咽拭子采集不规范的问题，保证样本质量。新冠疫情期间，达闼科技向武汉同济天佑医院和上海第六人民医院等输送医护助理机器人，协助进行远程看护、测量体温等。猎户星空的智能疫情防控机器人为北京大学首钢医院、武汉火神山医院提供无人初步诊疗等功能。防疫机器人的应用显著改变了医护人员应对传染性疾病的方式，成为技术赋能医疗的重要体现。



图 6.辅助医疗机器人

A robotic hand with a silver and black arm is holding a blue microfiber cloth. In the background, there are two cleaning bottles: one with yellow liquid and a yellow trigger spray head, and another with light blue liquid. The scene is set against a light gray textured wall and a dark gray surface.

3.2应用场景二

清洁消毒

3.2 清洁消毒应用

疫情之下，包括医院、学校、商场、街道等在内的一系列公共场所卫生安全需求显著提高。但同时，疫情的突发严重影响着以保洁为主的基础劳动力供给。清洁消毒机器人承担着保洁和消毒任务，在疫情期间起到关键作用。清洁消毒机器人主要是将消毒设备与清扫机器人相结合，消毒方式通常为消毒水雾化或者紫外线消毒，按规定路线和时间段自主完成清洁消毒任务，可承担在风险暴露环境中的消毒防疫作业。疫情期间坎德拉的烛光清洁消毒机器人入驻武汉金银潭医院、火神山医院和雷神山医院，高仙的清洁机器人也加入消毒模块在深圳市第三人民医院、山东省胸科医院落地应用。



图 7.清洁消毒机器人



3.3应用场景三

配送

FILE_NAME

3.3 配送应用

疫情期间无接触配送需求暴涨,防疫机器人应用在各种末端配送和高危场景配送中,通过云端平台调度、APP 预约等高效配送方式实现室内药品配送、器械配送、酒店物品配送、隔离餐配送,避免交叉感染,节省人力资源投入。防疫机器人在配送过程中通过标签和管理系统对接,信息全程可追溯,并且必须经过调度系统授权后,通过人脸识别、指纹或刷工作卡的方式才能开启,保证了配送全程的安全性。疫情期间擎朗智能共驰援 200 台送餐机器人至全国各地,为医护、病人、被隔离人员送药送饭,广东省人民医院引进了赛特智能的送药机器人用于医疗物品和医务人员餐饮配送工作。



图 8.配送机器人



3.4应用场景四

巡检

3.4 巡检应用

巡检机器人通过高清摄像头和 AI 智能化分析算法，实现对特定目标识别和追踪，能够进行多人同时非接触测温，减轻一线人员现场巡逻安保的负担；基于机器视觉能够在佩戴口罩情况下人脸识别，用于园区等场景，降低人员暴露风险。中国移动物联网公司的 5G 安巡机器人，全天候全时段自动化巡逻与现场实施监控，长期在风险暴露环境执勤并实时测温报警和清洁消毒，实现了对口罩状态下人员的有效识别与溯源，提升机场、地铁、园区、医院等公共场所防控能力。高兴新的“千巡警用巡逻机器人”主要进行无接触体温检测，已在上海黄浦步行街、贵阳龙洞堡机场投入使用。



图 9.巡检机器人应用场景

3.5 防疫机器人关键能力测评

机器人防疫是复杂的系统性工程，对于产品的稳定性和安全性要求较高。同时在疫情中部分仓促上阵的机器人未经过实际场景的验证，在使用中存在一定隐患。

面向全球抗击疫情的实际需求，中国移动研究院与中国移动国际公司在2020年启动了针对防疫机器人的研究和测评工作，结合防疫的无人化作业需求制定测试用例，协同多家机器人厂商进行防疫机器人的功能和特性测试，构建物联网机器人终端产品库。测试内容主要包括防疫机器人通用技术能力和消杀作业效率测试，如建图、定位、导航、人机交互、通信能力、实际作业效率、续航充电和喷洒效率等方面，通过严谨、公正的全方位测试评估，对机器人的自动化作业能力进行考查，如图10所示。目前，已经完成针对6款机器人的第一轮测评，相关型号均能够满足公共场所的自动化清洁、消毒、避障、疫情广播等疫情防控基本需求，初步判断具备独立作业能力，但性能方面仍存在待提升空间。测评简报见表1。

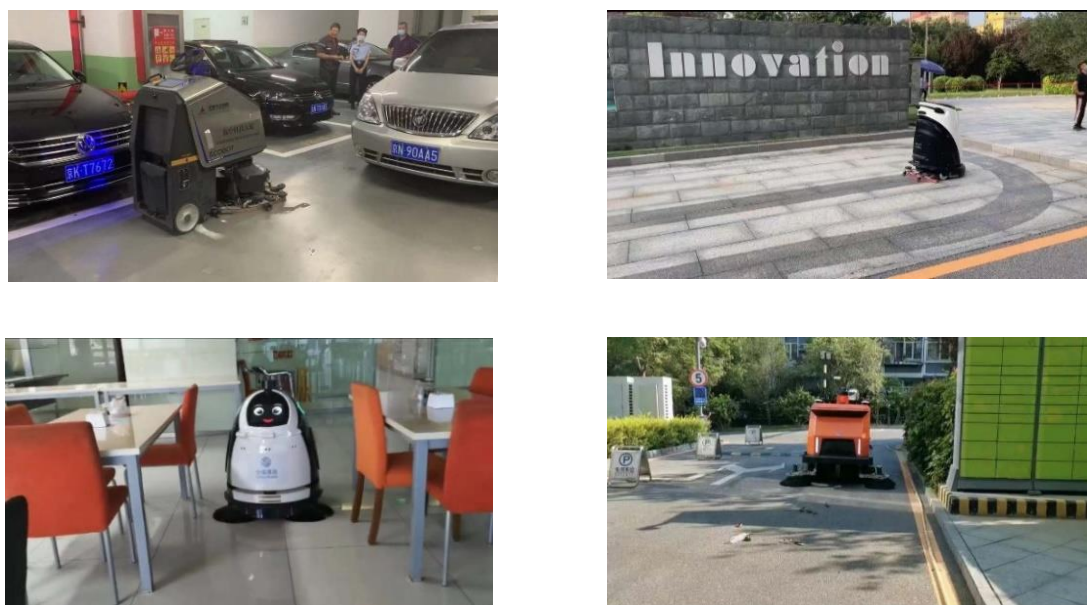


图 10.不同厂商机器人在中国移动北京创新园区室内外进行测试

表 1：6 款防疫机器人测评简报

通用能力	测试项目	测试结果
机器人自重	平均重量	室内机器人：85kg 室外机器人：280kg
建图	精度	偏差 1-3 m ²
	路线编辑	支持编辑，需手动修改
清洁	清扫效果	可清扫尘土、树叶，废纸等小型垃圾
	清洗效果	可清洗平整地面，清洗干净
	支持能力	消毒喷雾、但无法自动倾倒垃圾和识别垃圾物
定位导航	精度	偏差 3cm-6cm
行进	避障	避障性能良好，但无法识别侧方较快进入的移动障碍物
	地面环境	爬坡 10°-15°，可越过井盖、下水道，2cm 以下障碍物，无法越过减速带
	速度	0.4m/s-1.5m/s
人机交互	支持能力	支持触屏、急停、语音、指示灯、疫情播报等能力
通信	蜂窝通信	测试样机支持 4G 通信，支持全球 LTE 频段。硬件扩展支持 5G 通信能力，可根据客户需求定制 5G 通信模块
后台	支持能力	机器人状态监控、用户管理、清洁报告、摄像头监测
异常处理	传感器异常	上报后台偶尔延迟 2-3s

防疫机器人的作业场景复杂，需要语义理解、计算机视觉、传感技术、定位导航等多技术支撑的综合解决方案。近年来，公有云和边缘计算服务、各类开源算法、日趋完善的蜂窝通信网络在降低机器人运行成本的同时进一步提升机器人作业效能。针对测试报告反映的机器人个体重量大、延迟上报、建图精度和定位导航存在误差、智能化偏低等问题，引入 5G 通信技术和云端智能大脑对防疫机器人的智能化服务和产品演进有积极的推动作用。

04

防疫机器人产业及技术演进分析

防疫机器人服务于医疗、配送和巡检最前线的时候，也为 5G、云计算、AI 等技术从供给侧和需求侧打开空间，面向防疫机器人云化的实际需求，需要系统性地提升 5G 通信 SLA 服务质量，通过云边端协同、确定性网络、云平台数据安全等技术方案的研究、验证与实践推广，使能防疫机器人抗击疫情。但防疫机器人产业的发展仍面临诸多挑战，需要深入分析产业薄弱环节，突破关键技术壁垒。

4.1 防疫机器人现有技术分析

4.1.1 环境感知和定位导航技术

防疫机器人的环境感知和定位导航技术是在公共场所构建地图、控制行动和检测体温等功能实现的基础。防疫机器人感知功能和定位导航技术可以通过 SLAM 技术在机器人自身位置不确定的条件下感知周围环境、创建地图，同时利用地图进行自主路径规划。SLAM 技术通常涉及激光雷达、深度传感器、超声波传感器等多类型传感器的信息分析和融合，使防疫机器人及时感知自身和外部环境的参数变化，为控制和决策系统做参考，同时涉及全局、局部路径规划算法和避障算法等关键技术，辅助机器人对周围环境进行检测、识别和追踪。机器人传感器分析如表 2 所示。机器人工作环境复杂，强抗干扰能力、高精度以及高可靠性是防疫机器人对传感器的基本要求。目前，多传感器融合的 SLAM 技术成为趋势，从视觉、触觉、听觉等多维角度配置相应传感器，整合多渠道数据信息并处理复杂情况。

表 2：机器人传感器分析^[1]

传感器 类型	探测距离	精度	功能	优点	缺点

激光雷达	>100 米	高	动静态障碍检测、识别跟踪、定位和导航、建立地图	实时测量周围物体与自身距离，测量精度高	使用效果易受雨雪等恶劣天气的影响
摄像头	50 米	一般	利用计算机视觉判别周边环境与物体距离	防疫机器人身上携带的唯一能够识别周围物体的传感器	易受光影影响，辨别能力依赖算法，识别稳定性较差
毫米波雷达	250 米	较高	感知大范围内车辆的运行情况，多用于自适应巡航系统	性价比高	无法探测行人
超声波传感器	3 米内	高	探测环境和障碍物	能探测绝大部分物体且具有较高稳定性	无法进行远距离探测
GPS	——	短期测量精度高	实时定位导航，把控环境情况	能够实现全局视角的定位	无法获得周围障碍物的位置信息

- **4.1.2 运动控制技术**

运动控制技术指机器人为完成各种任务和动作所执行的相应控制手段,通过融合软硬件技术来解决机器人的精准运动及动作控制等问题。硬件系统中,舵机是驱动和控制防疫机器人运动的核心零部件,包括传感器、减速器、电机、控制器、AI 芯片等单元。软件系统中,控制系统是提高机器人性能的关键因素,主要包含位置控制、速度控制、加速度控制等。防疫机器人的运动控制主要有电机系统和液压系统两种方式,电机系统控制灵活,目前成熟度较高,但输出功率小,减速齿轮等传动部件容易磨损;液压系统复杂性高,功率密度大,定制设计比较多,但容易发热,造价成本高。目前,防疫机器人行进方式一般采用轮式或履带式,在应对复杂多样的行走环境方面还有待开发。

- **4.1.3 人机交互**

防疫机器人主要通过屏幕、语音、手势视觉等多模态方式进行人机交互。目前人机交互主要应用于人员引导、身份识别、咨询问诊、智能对话等场景中,机器人系统需要友好的交互技术做支撑。语音交互方面,阵列式麦克风和扬声器技术已经被广泛使用,以语音识别、自然语言处理、语音合成为主要技术构成模块的语音交互技术已发展成熟,使机器人具有“能听会说、有问必答”的能力。体感交互方面,以即时动态捕捉、图像识别、语音识别、VR 等多技术融合,通过对人行为和姿势的识别来完成人与机器互动。

目前防疫机器人在人机交互方面,存在周围环境干扰较大、沟通方式不够人性化等问题。其中,自然语言处理的难度很大,不仅体现在语法、语义、文化中存在的差异,还有方言等非标准语言产生,都迫切需要在应用场景和自然语言处理技术方面的继续探索。目前,人机交互还是主要满足在现场对机器人的控制,尚不具备完善的实时远程控制能力,需进一步增强。

- **4.1.4 机器视觉**

通过机器视觉中的智能化算法,实现对特定目标追踪凝视和深度挖掘疫情防

控数据价值。例如，实现多人同时非接触测温，并在体温异常时报警，能够在戴口罩情况下人脸识别，并对数据进行实时上云、跟踪管理。作为人工智能技术发展的重要分支，机器视觉是通过图像传感器接收和处理真实物体的图像，以获得所需信息或控制机器人运动的技术。由于视觉信息的丰富性，视觉技术已经成为机器人环境感知的必不可少的技术之一。目前主流的移动机器人视觉系统有单目视觉、双目立体视觉、RGBD 视觉等。单目视觉技术结构简单、算法成熟且计算量较小，但缺少深度信息，无法得到机器人运动轨迹以及地图的真实大小。双目立体视觉通过三角测量原理使用两个摄像头来对目标点的三维空间位置进行定位和感知，在精准避障的同时，还能够实现利用深度学习技术实现障碍物的 3D 识别，实现对环境的语义理解。RGBD 视觉是通过红外结构光或 TOF 原理，直接测出图像中各像素离相机的距离，大幅减少环境感知的计算量。近年来，机器视觉的技术发展趋势主要分为如下三个方面：

1、3D 视觉技术：3D 视觉技术包括双目视觉技术、结构光技术、光谱共聚焦技术等。由于 2D 视觉无法获得物体的空间坐标信息，故不支持与三维形状相关的测量，随着业务场景对机器人的精确度和自动化的要求越来越高，三维环境空间信息在（云端）智能机器人和 AR/VR 应用中正发挥越来越大的作用，3D 机器视觉成为技术发展趋势之一。

2、嵌入式视觉技术：相比于基于 PC 或云架构的视觉技术，嵌入式技术将用于实现图像处理和深度学习算法的 AI 模块集成至机器人相机，实现边缘智能。通过对 AI 芯片的集成，智能相机可以在特定的应用场景中实现图像处理并利用内嵌的人工智能算法做出逻辑判断，为自动化场景提供无需人工干预的智能方案，面向成本低廉、小型化、低功耗的移动端设备提供感知物理世界三维信息的能力。嵌入式视觉应用场景包括机器人引导系统、智能安防系统等。

3、多元化加速方案：传统的深度学习算法在 GPU、CPU 等硬件上实现，面临功耗高、散热差、价格昂贵等问题。但在单纯的 FPGA 类型芯片上进行深度学习算法实现，又存在开发难度大、研发周期漫长的瓶颈，不适合 CNN 等复杂算法的实现。因此在多种应用场景的持续促进下，深度学习硬件加速方案也朝多

元化方向发展，例如以 FPGA+ARM 架构的 SOC 逐渐产生了更多的应用空间。

4.2 5G通信技术推动防疫机器人技术架构创新

• 4.2.1 云端大脑技术优势

机器人通过无限扩展的云端计算能力来满足复杂多样的计算分析需求。云可以为机器人提供高性能的计算和存储服务，并且针对机器人本体只能执行内部固定的程序、无法自我学习的缺点，组织机器人知识共享、联动学习和集群控制等，解决单个机器的局限性。

连接云端大脑的防疫机器人拥有以下优势：

1、共性关键技术能力增强：防疫机器人的共性关键技术主要集中在即时定位与地图构建（SLAM）、导航、抓取等。机器人在建立地图时，当遇到地图未知、抓取目标模型未知或导航区域很大的问题，需要大量的数据空间和密集型数据计算，利用云端资源机器人可以卸载密集型计算任务到云端和存储大量数据，平衡计算负载，使 SLAM、导航应用等更加方便快捷，并且可以降低机器人本体的硬件需求和成本。

2、提升人机交互体验：机器人的视觉、语音可汇集在云端大脑进行智能分析和处理，提升多模态协同感知，并且通过与人的沟通交流和情感反馈学习到人类的个性知识传入云端持续学习，提升认知能力。

3、协同合作和共享资源：云端大脑除了增强单个防疫机器人执行复杂任务的能力，同时可以使分布在不同地区和具有不同能力的防疫机器人打破地域限制、互相协作、共享信息资源，扩展机器人的应用领域。例如在医护领域，一台清洁机器人完成病房清洁后，医护机器人可以下载清洁机器人上传的空间信息掌握房间内部格局直接开展作业，提高作业效率。

4、灵活升级：借助云端大脑，机器人可以动态加载应用，独立于本体持续软件升级。



图 11.5G 云端智能机器人架构

• 4.2.2 端-边-云协同技术架构

当前绝大多数防疫机器人采用以机器人本体计算和执行为主，云端进行任务管理分发和存储为辅的系统架构。机器人本体计算能力有限并且成本高，而海量数据全部传输到云端处理效率低，因此需要将数据合理的分布在云边端三级，实现更有效、更经济的算力部署。另外，测温、消杀等互动型防疫场景对信息传输时效性和网络的可靠性要求较高，需要通过 5G 网络实现。采用云边端结合的智能机器人计算架构，是发展 5G 云端智能机器人的重要趋势。

考虑到带宽的消耗、网络的延迟、以及数据隐私性保护等挑战，在数据量庞大、处理时延低、对数据隐私敏感的场景下，终端设备产生的数据中有超过半数需要在终端设备或网络边缘侧就近分析处理，实现物联网端-边侧分析与决策，而中心化的云端只处理计算资源需求大、实时性要求不高的计算任务，如 AI 模型训练。边缘计算在靠近数据源或用户的地方提供计算、存储等基础设施，并为边缘应用提供云服务和 IT 环境服务。对时延需求在 30ms 以下的应用都需要边缘计算的响应速度和处理能力。当我们把终端设备和接入网关等构成的集群当作一个小型数据中心，每个边缘节点不再运行单一的任务，而是变成一个个可以被动态调度的多任务通用计算节点。

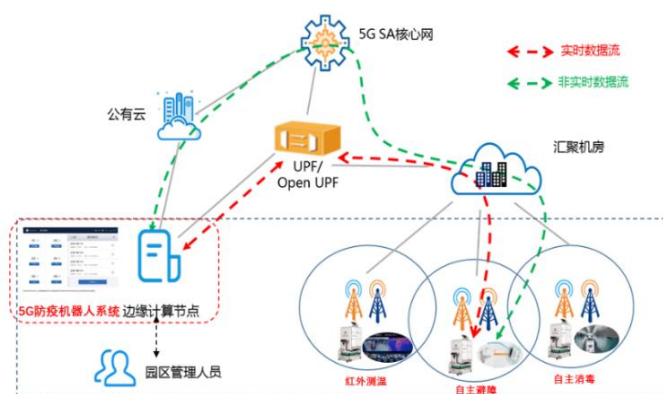


图 12.5G 防疫机器人系统边缘计算方案网络拓扑

端-边-云协同技术对防疫机器人系统的支撑主要体现在以下三个方面：

1、边缘计算聚焦实时、短周期数据的分析，能够更好地支撑本地业务的实时智能化处理与执行，增强机器人云端大脑的实时响应能力，提高计算效率。

2、端侧算力和边缘计算的协同还可以将敏感信息在本地进行最大限度的处理，避免信息上云带来的安全隐患。利用边缘计算智能网关进行本地数据采集，并进行数据过滤、清洗等实时处理。

3、边缘计算和云计算的结合，将突破终端的计算能力和存储的限制，提高AI算法的训练和推理能力，比如提升算法精度、降低训练时间等。因此即使云端拥有强大算力，边缘侧能力仍然能够优化整体架构的效率和提高算力部署的灵活度。

图 13.端-边-云协同的智能系统架构^[8]

4.2.3 5G 确定性网络助力机器人云化发展

5G 确定性网络，是指利用 5G 网络资源打造可预期、可规划、可验证、有确定性能能力的移动专网，提供差异化的业务体验。其中，5G TSN 技术是针对时延敏感业务的增强保障技术，在 5G 系统内（包括：UE、RAN、5GC）引入高精度时间同步机制（IEEE 802.1AS）、基于时间门控的精准转发调度机制（IEEE 802.1Qbv）、基于时间/闭环等机制的无线调度优化等关键技术，在 5G 网络中实现超低时延、超低抖动和超高可靠的传输保障。

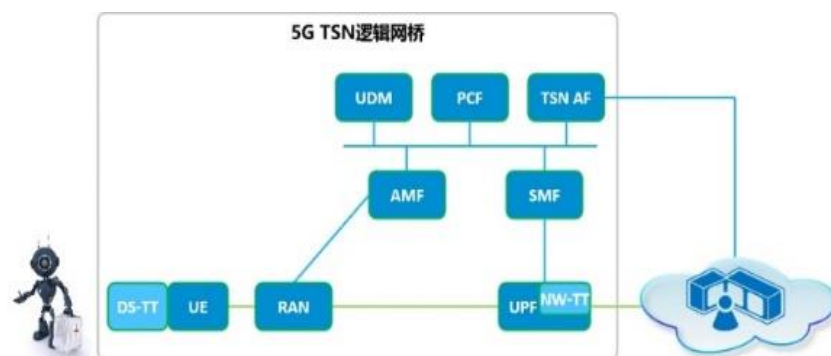


图 14.5G TSN 网络架构

5G 确定性网络消除了边侧与云端服务之间的物理界限，对防疫机器人系统的支撑主要体现在以下三个方面：

1、机器视觉：采用无线方式开展机器视觉业务时，需要上行带宽超过 50Mbps 甚至 200Mbps，端到端通信时延小于 10ms，可靠性要求大于 99.9999%，5GDN 的差异化网络能力可满足超低时延抖动、超高授时精度和可靠性需求。

2、云端大脑：云化机器人将控制“大脑”放在云端，根据本地机器人的不同工作内容和工作地点针对性控制，真正实现机器人的自主服务和自主判断。云端机器人调度过程中数据的实时交互，一般要满足高达 99.9999%的可靠性，通信时延为 10-100ms。5GDN 基于网络切片技术可以虚拟出一个“无线专网”，进行更高强度的安全隔离，定制化按需分配资源，基于 5G MEC、5G TSN 等技术则可以实现更低时延和更确定性的联接。

3、短距通信：近年来 Wi-Fi、蓝牙等短距无线通信技术都在制造业中有所应

用，但基于其尽力而为的传输机制，存在时延、丢包等问题，在时间敏感型场景无法使用，且存在数据孤岛、安全风险等问题。5GDN 提供应用场景所需的 LAN 组网服务，以及专属网络能力服务保障企业数据的安全，并通过自助网络能力实现灵活运维和敏捷自管理。

4.3 防疫机器人产业发展及未来展望

新冠疫情的爆发，让防疫机器人产业迅速升温。随着国家政策的颁布、技术创新成果的积累和产业链的逐步完善，防疫机器人迎来了重大发展机遇。防疫机器人产业依托优秀的人才、完善的信息、现代科技技术等优势，不断加大新产品的研发力度，形成“产业+技术+资本”相生互动，从终端到网络搭建到软件平台建设的高质量创新发展模式。

中国移动践行“创新驱动发展”的理念，希望与各产业合作伙伴共同推进防疫机器人的发展及产业成熟。中国移动将持续深入分析防疫机器人产业趋势变化，借助运营商的云网融合优势，为防疫机器人等各领域机器人的模式创新和应用推广提供技术基础，助力各行业的数字化转型升级。

缩略语列表

缩略语	英文全名	中文解释
5G	5th-Generation	第五代移动通信技术
CHBN	C(CUSTOMER) ; H(HOME) ; B(BUSINESS); N(NEW)	C (移动市场)、H (家庭市场)、B (政企市场)、 N (新兴市场)
SLAM	simultaneous localization and mapping	同步定位与建图技术
3D	3-dimension	三维空间
RGBD	RGB + Depth Map	深度图像
TOF	Time of Flight	飞行时间测距法
2D	2-dimension	二维平面
AR	Augmented Reality	增强现实技术
VR	Virtual Reality	虚拟现实技术
GPU	Graphics Processing Unit	显示芯片
CPU	Central Processing Unit	中央处理器
PC	personal computer	个人计算机
FPGA	Field-Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
CNN	Convolutional Neural Networks	卷积神经网络
ARM	Advanced RISC Machine	RISC微处理器
SOC	System on Chip	系统级芯片
5G TSN	5G Time Sensitive Networking	5G时延敏感网络
5GC	5G Core	5G核心网
5GDN	5G deterministic networking	5G确定性网络

参考文献

- [1] [期刊论文] 亿欧智库-《2020 中国服务机器人产业发展研究报告》2020 年 4 期
- [2] [期刊论文] 王志刚, 王海涛, 余琪, 史雪松, 张益民-《计算机研究与发展》2020 年 9 期
- [3] [期刊论文] 前端产业研究院-《2020 中国防疫机器人发展报告》2020 年 9 期
- [4] [期刊论文] 《机器人 4.0 研究报告: 云-边-端融合的机器人系统和架构》2019 年
- [5] [期刊论文] 确定性网络产业联盟-《5G 确定性网络产业研究报告》
- [6] [期刊论文] 确定性网络产业联盟-《5G 确定性网络+工业互联网融合研究报告》
- [7] [期刊论文] 赛迪顾问股份有限公司-《中国工业机器视觉产业发展研究报告》
- [8] [期刊论文] 牛亚文-《机器智能与边缘智能关键技术研究》
- [9] [期刊论文] 熊安迪-机器人产业-《达闼科技: 多类云端智能机器人组成防疫抗疫新力量》2020 年第 2 期
- [10] [期刊论文] 熊安迪-机器人产业-《优必选科技: AI 机器人落地深圳防疫一线》2020 年第 2 期
- [11] [期刊论文] 管浩-华东科技-《后疫情时代, 服务型机器人或将迎来发展黄金期? 》2020 年第 6 期

联合编写单位及作者

中国移动通信有限公司研究院：宋文静、王曦泽、张悦、王柄璇、石祚夫

中国移动物联网公司：张智童

坎德拉科技创新有限公司：刁忍、黄阿强

中兴通讯股份有限公司：郑兴明