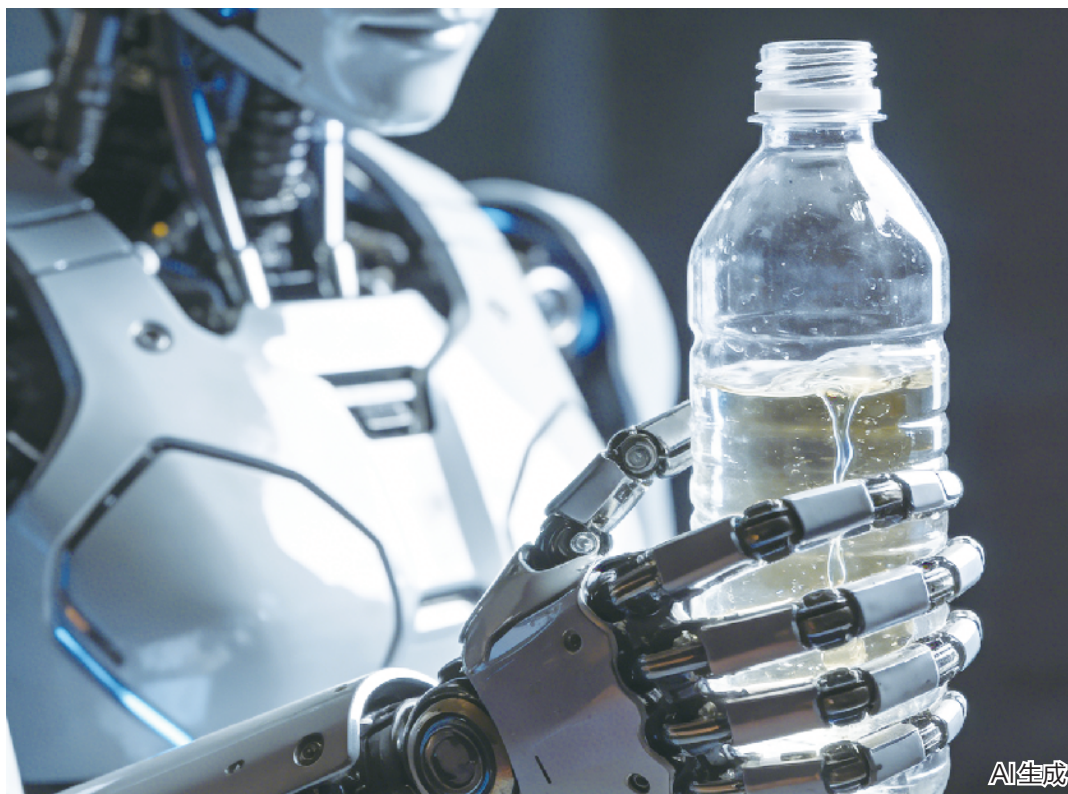


# “触觉皮肤”让机器人“下手知轻重”

## 我国科学家研制出全球首个亚毫米级分辨率双模态触觉传感器阵列

触觉是人类感受世界的重要方式,但机器人的触觉一直不太“敏感”。机械手握瓶子,用力轻了握不住,用力重了很可能一下子捏爆,这成为机器人在实际应用中所面临的痛点。不久前,港科大(广州)警云龙教授团队在国际顶尖期刊《先进材料》上发表了最新研究成果,团队成功研制出全球首个亚毫米级分辨率的双模态触觉传感器阵列。该技术首次实现了对物体表面软硬度分布的精细触觉感知,使机器人获得了接近人类指尖皮肤的感知与辨析能力。

近期,广州科研机构与科技企业在机器人的软硬件领域都取得了一系列突破。



AI生成

### 触觉传感器直径降至亚毫米级

2024年,警云龙团队研制出了第一代双模态触觉传感器阵列,并在期刊《科学进展》上发表相关成果。当时,该触觉传感器阵列的材料种类识别率达99.4%、材料软硬度识别准确率达100%。美中不足的是,阵列中单个触觉传感器的直径达5毫米级,无法在机器人手指的狭小面积上进行高密度阵列排布。

“我们的指纹间距大约在1毫米以内。触觉传感器要做到这个尺度以内,才能感知如指纹般精细的纹理。要想让机器人的手指拥有人类识别软硬的功能,触觉传感器的直径必须降低到亚毫米级。”警云龙介绍,经过一年多的努力,团队终于将触觉传感器直径从5毫米降低至0.35毫米。

实现这一跨越,离不开团队脚踏实地的努力和学校跨学科融合互助。据介绍,触觉传感器尺寸每缩小一步,工艺难度便呈指数级增长。触觉传感器阵列要做到平面与曲面的精密结合,团队需要将上百个亚毫米级的微型传感单元排列整齐,每个单元都要独立连接压电与摩擦电两层信号线,总计两百余根导线,绝不能互相干扰。

团队在材料选择与工艺调试上煞费苦心。为了找到适合制造微柱阵列基底的材料,团队迭代了十几种配方,从热固化到光固化,经历了上百次失败。“在港科大(广州),我们不仅要以科学

家思维发现问题,提供解决方案,更要以工程师思维交付‘实际可用的样品’,让科研与工程贯通,才能让实验室的研究成果走向真实的应用场景。”警云龙说。

港科大(广州)跨学科的环境为这场精密攻坚提供了关键支撑。由于团队成员多为材料学背景,通过学校跨学科的学习与协作,他们补全了微电子等相关知识,并与人工智能、智能制造等领域的师生紧密合作,不断优化触觉传感器设计,逐步实现了从宏观器件到微米级器件的跨越。

最终,团队通过将皮秒紫外激光精密加工与高精度3D打印等尖端制造技术进行创新融合,攻克了相应的工艺集成难题,成功实现了触觉传感器单元的微型化,完成了亚毫米级分辨率双模态智能触觉传感器的关键跨越。

### 让机器人不再“毛手毛脚”

实现这一突破后,团队积极推动成果落地转化。目前,触觉传感器阵列已有众多应用方向。

将来,人形机器人走入家庭,特别是实现照护老人小孩、做家务等功能,拥有触觉传感器阵列的机器人不再“毛手毛脚”,而是“抓稳扶好”卧床老人。如果想让人形机器人拿香蕉或水杯,也不用担心它会捏烂或捏碎;让机器人做家务,也不用担心它握不住拖把。

触觉传感器阵列还能用于产品的溯源与防伪。在产品的设计时,厂商可制作一个独特的物理指纹,这样,装有触觉传感器阵列的专业设备或机器人一摸,便能读取信息,真假立判。

在产品分拣上,触觉传感器设备也可以发挥作用。例如,水果的软硬度往往代表它的成熟度,装有触觉传感器的机器人可以从一堆水果中精准挑出成熟度最佳的一颗。

在工业领域,相关设备或机器人也可以采用合适的握力,对工具进行操控。

在医疗健康领域,触觉传感器设备还有望应用于内窥镜,通过感知身体内部组织硬度的细微差异,为早期诊断提供线索。

### 未来将升级触觉传感器阵列功能

未来,团队还将进一步升级触觉传感器阵列的功能。“希望它能有更多方面的触觉感知,如对物体表面粗糙度、温度、滑动等的感知。我们会试着集成这些功能,让机器人产生更像人的触觉。”警云龙说。

此外,团队还在研究触觉反馈模拟,并有望应用于虚拟现实领域。警云龙表示:“人体有视觉、味觉、触觉、听觉、嗅觉,但在虚拟现实领域,目前能够感受到的仍只有视觉和听觉,如果能增加触觉感受,将有望进一步提升虚拟现实的

体验感。如在虚拟现实呈现的一些精美文物,我们不仅可以看、可以听、可以亲手触摸,还可以通过给表皮提供一个微电流,来模拟触觉的反馈。”

警云龙表示,未来,触觉模拟反馈有望帮助安装假肢的残疾人,通过对假肢的改造,结合对神经方面的研究,可以让残疾人的假肢模拟出正常的触感,并反馈到他们的大脑。这样他们用假肢摸到一样物体时,有望产生和正常人一样的感受。

据《广州日报》作者:武威

## 机器人的“触觉”是怎么产生的?

港科大(广州)教授警云龙展示了团队研发的双模态触觉传感器阵列。在一个7毫米×7毫米的正方形上,密密麻麻地安装了100个直径仅0.35毫米的触觉传感器,形成一块触觉传感器阵列,下方则依次为摩擦电层和压电层。装上这套阵列后,机器人便可以精细感受物体表面的软硬程度,一根香蕉是真是假,可以轻易逃过机器人的视觉检测,却逃不过装上触觉传感器阵列后的手指。

让机器人感知软硬度。警云龙表示,以往机器人触觉传感器通常只检测压力,但人的触觉构成远不仅是压力,还包括物体的粗糙度、软硬度、温度等。团队的目标就是要让触觉传感器向人类的手指皮肤功能靠拢,第一步的攻关方向就是让它先能感知物体的软硬度。

压电和摩擦电形成判断标准。警云龙解释:“物体受压后,会因表面软硬度不同,产生不同的变形。接触面积的变化会反映出不同大小的摩擦电信号。持续采集该信号,就会形成一条变化曲线,再结合同一时间压力产生的压电信号变化曲线,就可以判断物体表面某个点位的软硬度。”

传感器越小,排布越精细,“触觉”越灵敏。人类指尖每平方厘米分布着约240个触觉感受器,能同时捕捉压力、纹理、软硬等多维信息,形成精准的“触觉画像”。“机器人也可依靠高密度的触觉传感器阵列和相关算法来实现这一功能。传感器做得越小,排布越精细,阵列的‘触觉’就会越灵敏。”警云龙说。据《广州日报》作者:武威

# AI眼镜出货量攀升 产业链企业推进技术革新

全球技术市场研究机构Omdia近日发布的数据显示,2025年,全球AI眼镜出货量达到870万台,同比大幅增长322%,其中,中国大陆市场占全球AI眼镜市场10.9%的份额,出货量接近100万台,成为仅次于美国的全球第二大市场。

深度科技研究院院长张孝荣表示,AI与AR(增强现实)技术的深度融合,正推动AI眼镜从概念产品加速迈向规模化商用,成为智能穿戴领域增长最快的细分赛道。市场销量爆发式增长叠加政策赋能,持续拓宽行业应用场景,而产业链上下游上市企业也顺势加大研发投入,攻坚核心技术,以技术革新夯实行业增长基础,推动AI眼镜产业迈入高质量发展新阶段。

### 应用场景持续扩容

“如果说2025年是AI眼镜爆发式增长元年,那么2026年将是其从‘量的爆发’迈向‘质的提升’、全面撬动大众市场的成熟之年,规模化商用进程将持续提速。”上海杉达学院数字商学院研究中心研究助理武于蒙表示,“进入2026年,产品迭代、市场渗透与渠道放量速度显著加快,千问AI眼镜G1开售次日便登顶天猫XR(扩展现实)设备热销总榜与抖音AI眼镜热销总榜,其背后正是技术迭代升级与价格亲民化的双重支撑。”

从国内市场表现来看,北京洛数合图科技有限公司最新发布的数据显示,2025年,中国智能眼镜市场的销量为145.4万台,同比增长211%。

盘古智库(北京)信息咨询有限公司高级研究员余丰慧表示,技术迭代突破是AI眼镜销量提升的核心驱动力。在光学与硬件环节,光波导与Micro LED(微型发光二极管)的深度融合,正推动设备从“概念产品”向日常穿戴形态快速进化;在智能交互层面,端侧硬件的算力升级与功耗优化,让实时语音翻译、场景图像识别、多模态感知等功能得以在本地流畅运行。

中国电子商务专家服务中心副主任郭涛表示,应用场景持续扩容成为AI眼镜销量增长的另一重要支撑。当前AI眼镜已超越音频、拍摄等基础功能,向医疗、教育、工业等领域深度渗透。例如,AI眼镜在工业场景可助力设备巡检与远程运维,显著提升作业效率。

Omdia预测,2026年全球AI眼镜出货量将超过1500万台。北京洛数合图科技有限公司预测,

2026年中国AI眼镜市场整体销量将突破320万台,同比增长120%,行业格局也将在更激烈的竞争中持续重构。

### 上下游企业协同发力

AI眼镜销量的爆发式增长,背后是产业链上下游企业的持续发力。面对行业机遇,相关上市企业纷纷聚焦核心技术革新,加大研发投入,推动产品向轻量化、多功能、日常化演进,同时完善产业布局,形成协同发展的良好格局。

中科创达软件股份有限公司相关负责人表示,公司已经推出TurboX AI眼镜方案,深度优化“Android+RTOS”双系统,实现开机速度提升75%、拍照响应效率加快50%。

星辰科技股份有限公司相关负责人表示,公司在2025年开发者大会上发布了最新移动视觉研发成果ISP6.0,其高动态范围达140分贝,支持AI高动态范围算法消除鬼影;电子图像稳定技术新增地平线锁定功能,实现领先的运动防抖效果;搭配色彩引擎及升级3A算法,可适配公司第二代智能眼镜及其他移动影像设备的动态场景。

京东方华灿光电股份有限公司此前在深交所互动易平台上表示,公司已成功开发出适用于AR/VR(虚拟现实)、智能穿戴等近眼显示设备的单色Micro LED芯片及微显示模块,并持续推进技术优化,相关产品的性能、可靠性与生产良率稳步提升。

中国城市专家智库委员会常务副秘书长林先平表示,对于AI眼镜产业链上市企业而言,应聚焦“技术攻坚+生态协同+合规落地”。上游加快光波导、Micro LED与端侧AI硬件突破,提升良率降低成本;中游深耕轻量化与场景化,避免同质化;下游打通跨设备生态,挖掘健康、办公等刚需场景。同时严守隐私合规,以技术与体验双轮驱动,抓住销量爆发窗口,构筑长期竞争力。

“随着入局者持续增多,AI眼镜赛道核心竞争力已转向全场景生态整合能力。”北京艾文智略投资管理有限公司首席投资官曹徽表示,“厂商未来突围的关键在于把AI眼镜真正嵌入用户的跨设备、全场景生活体系,实现与智能终端、使用场景及云端服务的无缝联动,创造可持续的真实使用价值。” 据《证券日报》作者:李万晨

## ► 科技前沿

# 两项6G前沿成果发布

北京邮电大学近日发布“通感一体化技术”和“通感控闭环信息交互技术”两项6G(第六代移动通信技术)前沿成果。

“通感一体化技术”有望在自动驾驶、低空信息基础设施构建等领域应用。据介绍,该技术突破了现有无线通信的技术壁垒,创新性地实现通信和感知深度融合,利用通信基站电磁波信号传播与反射特性,同时实现对目标的通信和探测,让基站既能“通”又能“感”,实现“一波两用”。数据显示,该技术已实现单站探测距离超过1公里,目标检测率达95%,攻克了无人机与飞鸟目标精准识别、多站协同探测等技术难题。

## 我国在超导量子计算领域实现新突破

近日,深圳国际量子研究院钟有鹏、俞大鹏团队在超导量子计算领域首次实现了基于双轨编码的逻辑多量子比特纠缠。相关研究成果发表于国际学术期刊《自然-物理》。

近年来,擦除量子比特作为一种新兴的硬件高效方案受到广泛关注。在超导量子电路中,实现擦除量子比特的一种重要方案是双轨编码。该方案在单比特逻辑操作中具备优势,但如何在多量子比特层面实现高质量的逻辑纠缠和逻辑门操作,仍是核心挑战。

为此,研究团队基于双轨超导量子比特架构,在可扩展的平面Transmon(超导量子比特)芯片上,首次实现了逻辑多量子比特的高保真度纠缠生成。每个双轨逻辑量子比特由一对可调Transmon组成,利用其单激发子空间进行信息编码。该设计可将能量弛豫错误转换为可检测的擦除错误,同时利用两个Transmon之间的

“通感控闭环信息交互技术”则主要赋能智能制造领域。科研人员提升机器“感知环境-数据传输-控制反馈”整个闭环过程中的信息交互性能,使其能够对环境变化做出敏捷响应。北邮表示,该技术有效破解了工业网络中存在的功能冗余、闭环交互效率低、控制灵活性差等难题,为柔性生产线和黑灯工厂的规模化建设提供了技术新方案。

“6G的核心不在于‘堆料’,而在于‘智简’。中国工程院院士、北京邮电大学教授张平说,该校将继续探索原创性技术,打破路径依赖,促进6G演进发展。

据《北京日报》作者:何蕊

强耦合产生类似被动动力学解耦的效果,显著抑制退相干噪声。实验测得逻辑量子比特的相干时间接近1毫秒,较底层物理量子比特提升一个数量级以上。

团队进一步实现了逻辑量子比特之间的可调耦合,首次演示了双轨架构下高保真度的逻辑两比特门,并基于这些逻辑门生成了逻辑贝尔态和三量子比特多粒子最大纠缠态。值得注意的是,逻辑贝尔态的纠缠寿命较物理贝尔态提升约一个数量级,充分体现了双轨编码结合擦除检测对量子信息的保护能力。

该研究首次在多量子比特层面实现了超导量子电路中双轨量子比特的逻辑纠缠与逻辑门操作,证明该体系不仅在单比特层面具备噪声偏置优势,而且能够扩展到多比特逻辑操作,向可扩展容错量子计算迈出了关键一步。

据《中国科学报》作者:刁雯蕙

## 新型火箭发动机完成整机全系统长程试车

近日,由蓝箭航天研制的220吨级液氧甲烷全流量补燃循环发动机“蓝焱”完成整机全系统长程试车,标志着我国在大推力高性能液体火箭发动机领域持续取得突破性进展。

蓝箭航天相关负责人介绍,“蓝焱”采用国际先进的全流量补燃循环构型以及高集成设计与高压设计的总体技术方案。与传统构型发动机相比,全流量补燃循环发动机设计、试验和

制造难度大,但燃料利用效率高、推重大、寿命长。“蓝焱”作为支撑我国下一代大型和重型运载火箭研制的重要动力基础设施和核心配套能力,将为构建高效率、可重复使用的重型运载动力体系奠定基础。

据悉,“蓝焱”发动机于2025年5月进行了首次全系统试车,已累计完成全系统点火试车100余次。 据《光明日报》作者:张晓华