
研究让机器人拥有人类般的精细触觉

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/38263.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

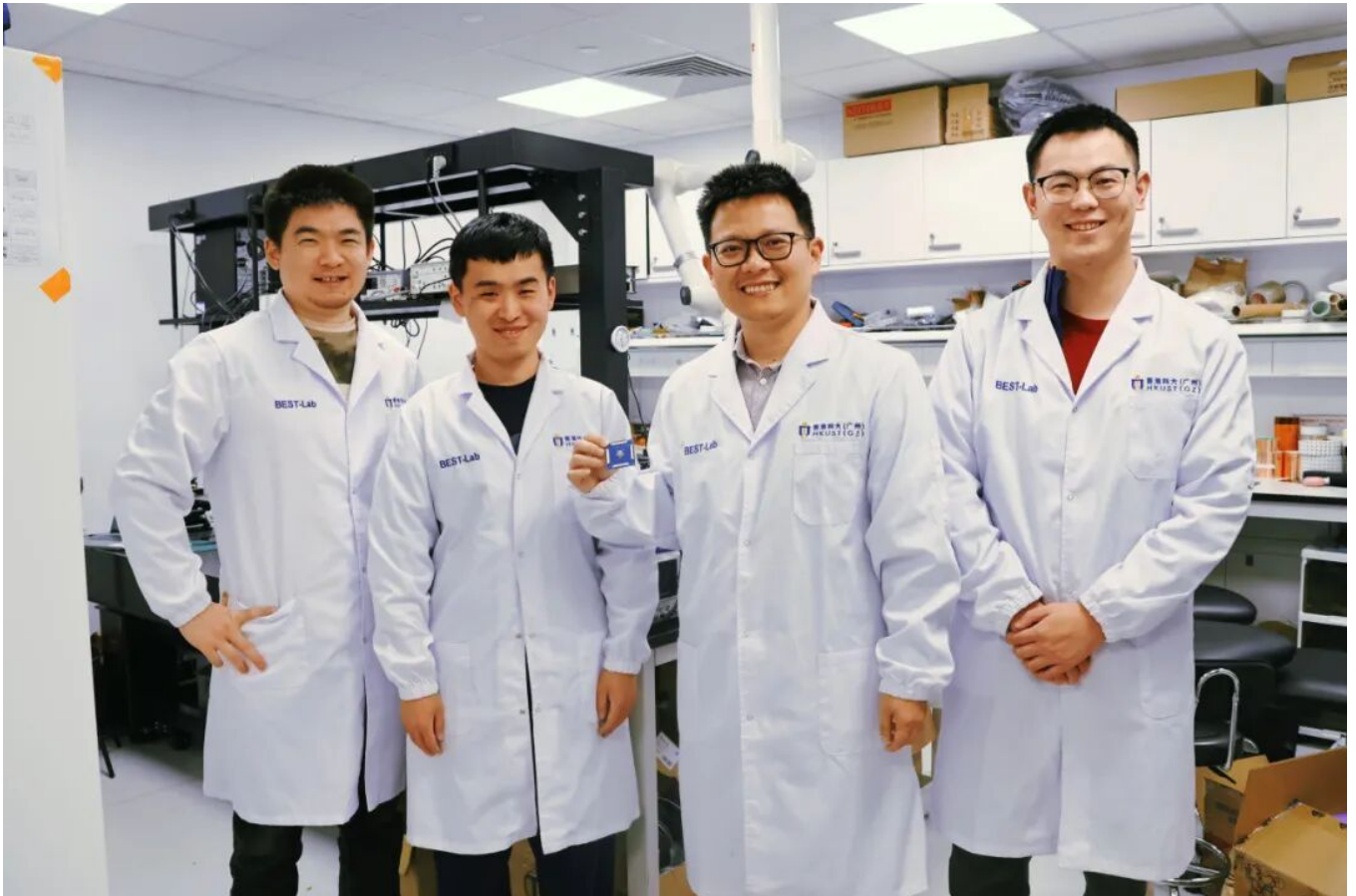
研究让机器人拥有人类般的精细触觉。指尖轻轻触碰，便能感知苹果的爽脆、面包的松软、丝绸的细腻，这得益于人类皮肤历经数百万年进化形成的精妙结构。人类指尖每平方厘米分布着约240个触觉感受器，它们能够同时捕捉压力、纹理、软硬等多维信息，并瞬间传递给大脑，从而形成精准的触觉画像。倘若能为机器人赋予这样指尖触觉，甚至使其具备更敏锐的感知能力，那么世界将充满无限可能。

近日，一项来自香港科技大学（广州）（以下简称港科大<广州>）的突破性研究，正逐步将这份指尖智慧变为现实。该校副教授訾云龙团队与合作者成功研制出亚毫米级分辨率的双模态触觉传感器阵列，首次实现了对物体表面软硬度分布的精细触觉感知，让机器人系统获得了接近人类指尖皮肤的感知与辨析能力。相关成果已发表于《先进材料》。

为机器人赋予生动的触觉

人类依靠五感知世界，机器要迈向真正的智能，也需要模拟这些感官。论文通讯作者訾云龙表示，目前，仿生视觉和听觉技术已相当成熟，但触觉的精细复现，仍是亟待突破的‘深水区’。

据介绍，现有的触觉传感器长期面临着一个困境：高分辨率与多模态感知难以兼得。高分辨率传感器往往只能测量单一信息，例如压力；而多模态传感器又因结构复杂，导致尺寸偏大、精度受限。此外，基于压电、摩擦电等自供电机理的传感器，信号串扰问题严重，阻碍了信息的精准解码。



訾云龙（右二）和团队成员。受访者供图

为此，訾云龙团队决心攻克这一瓶颈。他们选择从软硬度这一关键物理属性切入，为机器人增添辨别真伪、判断品质的全新感知维度。自港科大（广州）成立之初，团队便启动了这项仿生触觉研究，历时三年半。团队从昆虫触觉感受器（钟型感受器）的结构中获得灵感，提出了双模态智能触觉传感器。

该传感器基于摩擦电效应，在自供能条件下，能够同时实现材料种类识别、材料柔软度识别以及量化弹性模量。论文共同第一作者、港科大（广州）博士生何少帅表示，其设计为半球顶结构，利用与不同柔软度物体接触面积不同所产生的电压信号幅度差异，结合力学赫兹接触理论，可实现材料柔软度识别和量化弹性模量。

然而，团队并未满足于此。何少帅介绍，此前的研究虽实现了材料种类识别率99.4%、材料软硬度识别率100%的准确率，并制作出单个触感器在5毫米级的阵列集成，但要赋予机器人真正灵巧的智能指尖，必须在传感器的微型化与集成度上继续取得突破。

迈向亚毫米级的触觉指尖

指纹间距约在一毫米以内，触感器要做到这个尺度以内，才能感知如指纹般精细的纹理，这意味着研究需迈向亚毫米级的阵列集成。

在港科大（广州），我们不仅要以科学家的思维发现问题、提供解决方案，更要以工程师的思维交付‘实际可用的样品’，让科研与工程贯通，走向真实应用场景。訾云龙说。

但尺寸每缩小一步，工艺难度便呈指数级增长。制备工艺是最大的困难，传感器阵列需做到平面与曲面的精密结合，要将上百个微米级的小手指（传感单元）排列整齐，每个单元独立连接压电与摩擦电两层信号线，总计两百余根导线且不能互相串扰，这如同在一个极小面积内进行超精密的布线手术。

材料选择与工艺调试更是困难重重。仅为了找到适合制造微柱阵列基底的材料，团队就迭代了十几种配方，从热固化到光固化，经历了上百次失败。支撑团队走过反复试错过程的关键在于看到希望的微光。

訾云龙认为，导师要帮助学生判断难点是可攻克的技术挑战还是必须绕行的理论死胡同，培养学生的风险判断与科研管理能力。

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。学校不同领域的师生积极交流合作，主动打破学科壁垒，促使团队跳出单一领域思维定式。团队虽大多为材料学背景，但通过跨学科学习与协作，补全了微电子等相关知识，并与人工智能、智能制造等学域的师生紧密合作，不断优化传感器设计，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，成功实现了触感器单元的微型化，将单个触感器尺寸从5毫米缩小至0.35毫米，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。

精细触觉感知的广阔前景

性能的稳定与提升，为技术转化铺平了道路。这项兼具亚毫米级分辨率与双模态感知的技术，打开了极具想象力的应用空间。

最直接的应用是高安全性产品的溯源与防伪。我们可以在产品表面，用肉眼乃至光学设备都无法识别的微小软硬度差异，制作一个独特的‘物理指纹’。訾云龙描述道，专用设备或机器人一摸，便能读取信息，实现极难仿造的真伪验证。

在智能家居与工业分拣领域，机器人将能真正实现择优而取——从一堆水果中精准挑出成熟度最佳的一颗，或在一批外观相同的物品中识别并抓取特定目标。

医疗健康是另一个充满前景的方向。如果将该技术集成于内窥镜等医疗器械，通过感知身体内部组织硬度的细微差异，可为肿瘤等疾病的早期诊断提供触觉线索，辅助医生实现更精准的诊疗。

对于应用前景，团队保持着开放而务实的态度：有的方向非常契合，有的则是技术原理的有趣延伸。这也恰恰说明，精细触觉感知蕴藏着无限可能。

面对未来，团队方向清晰。訾云龙透露，下一步，基础研究将继续向感知滑动、三维力等更复杂的触觉维度深化；技术转化则会秉持开放心态，积极寻求与产业界的合作契机。现在正是带着我们‘能做什么’的明确答案，去与市场对话的好时机。

在不远的将来，拥有一双‘人类般灵巧双手’的机器人，或许将从愿景逐步走入现实。訾云龙对《中国科学报》表示，从昆虫触角的启发到亚毫米级的触觉阵列，从实验室的原理验证到面向应用的技术突破，这项研究不仅展现了仿生触觉传感技术的巨大潜力，也体现了跨学科协作与工程

化思维在科研创新中的关键价值。（来源：中国科学报 朱汉斌 余毅菁）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1002/adma.202519734>

作者：訾云龙等 来源：《先进材料》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发