“超级光电皮肤”让机器人不仅“有触觉”，更“懂触觉”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/38057.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！

“超级光电皮肤”让机器人不仅“有触觉”，更“懂触觉”。人类的皮肤能够通过触觉分辨物体的形状、大小、质地、温度、湿度等属性。随着机器人逐渐向智能化发展，未来，机器人是否也能像人类一样感受外界物体的温度、材质、甚至表面细腻的纹理？

近日，来自清华大学深圳国际研究生院副教授丁文伯团队联合产业界及多所国内外科研机构，开发出了名为SuperTac的多模态高分辨率触觉传感技术，并成功将该技术集成在仅为1毫米厚的薄膜上，如同让机器人穿上超级光电皮肤，赋予机器人同时感知力度、位置、温度、材质、纹理、颜色、振动、滑动、碰撞、接近感应等10
种感知能力，识别准确率达到94%以上。相关研究成果发表于《自然—传感器》上。

这项技术不仅突破了以往触觉传感器功能单一与精度难以兼得的困境，其搭载的触觉语言模型DOVE更能让机器人听懂并说出触觉感受，为人机交互打开了全新的大门。

拥有10种感知能力的超级光电皮肤

人形机器人、工业自动化、家用智能设备等领域的快速发展，机器人已不再局限于单一任务执行，它们通过视觉、听觉等感知技术来感知、理解和应对外部环境。然而，机器人在触觉感知方面的技术长期面临想要功能多，精度就差；想要精度高，功能就少的两难局面。

传统机器人的触觉感知技术主要基于电子皮肤和视觉传感器两种方式，然而电子皮肤功能多但分辨率低，视觉触觉传感器分辨率高但功能单一。就像盲人摸象，有的只能感知温度，有的只能感知压力，需要好几种传感器拼接在一起才能勉强还原物体的全貌，既笨重又不准确。

当时，我们尝试从光学的角度来解决这个难题。一种非常聪明的生物——鸽子进入了我们的研究视野。论文通讯作者、清华大学深圳国际研究生院副教授丁文伯介绍，与人类眼睛的三种感光细胞相比，鸽子的眼睛具有4种感光细胞，能看见包括紫外线在内的广阔光谱，其视网膜内还含有能感知地球磁场的特殊蛋白，为它们提供了独特的磁导航能力。

受鸽子视觉系统的启发，研究人员开发出了一种多模态高分辨率的触觉传感器（SuperTac）。他们通过模仿鸽子眼睛的多光谱感知原理，设计了一套能够同时捕捉紫外线、可见光、近红外光和中红外光四个波段的成像系统。其中，可识别的不同光线波段分工不同：可见光用来识别颜色和纹理，红外光用来感知温度，紫外光则用来追踪皮肤上的荧光标记点从而计算受力情况。这套成

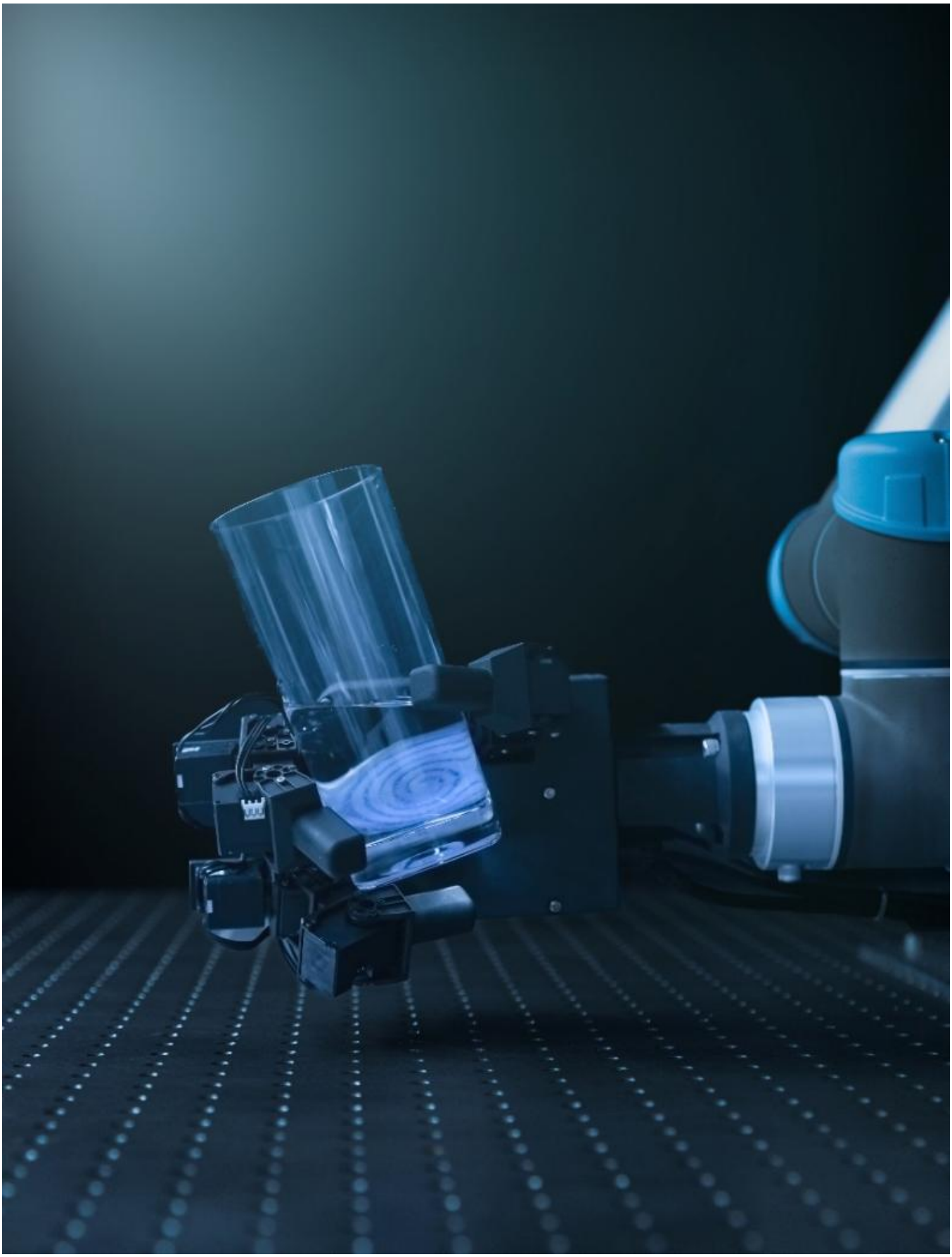
像系统就像是给机器人配了一台全彩夜视仪，不仅能看到表面，还能看到物体的颜色、温度分布、内部形变等多维的信息。

为了实现这些多维信息的同步采集，研究人员在传感器的表面制备了仅为1毫米厚的薄膜，这层薄膜集成了四层结构：其中，最外层是导电层，通过摩擦起电来识别材质；第二层是可以控制不同光线进出的光学单向膜；第三层是嵌有荧光标记点的透明硅胶，用于捕捉细微形变；最底层则是可充气的硅胶层，能像气垫一样通过调节气压来改变软硬度。

这四层结构配合起来，就像给机器人穿上了‘超级光电皮肤’，能够实现力度、温度、材质、形变等多种信息的同步采集。丁文伯介绍。

让机器人不仅有触觉，更懂触觉

"这是一个黄色的陶瓷杯，表面光滑，温度略高于室温。"在清华大学深圳国际研究生院的实验室里，研究人员正在通过灵巧手测试他们最新提出的机器人视触觉传感器技术。集成了SuperTac的灵巧手触摸杯子后，就能准确说出杯子的颜色、材质、温度等信息。



安装SuperTac的灵巧手。受访者供图

除了给机器人穿上超级光电皮肤，研究人员还开发了拥有85亿参数的触觉语言大模型DOVE（鸽子），它就像机器人的触觉翻译官，当传感器收集到的图像和数字信号后，DOVE能够将这些信号翻译成人类能懂的语言。

比如，我们给机器人发出一个指令：‘帮我找一个软的、温暖的东西’，机器人就知道要去触摸不同物体，并根据柔软度和温度来判断。或者说‘小心，这个很脆’，机器人就会自动调整抓取力度。简单说，DOVE让机器人不仅‘有触觉’，还更‘懂触觉’，真正实现了人机之间的自然交流。丁文伯介绍。

实验结果显示，该技术在多指灵巧手上的感知和识别任务上表现出色。例如在盲抓任务中，机器人在完全无视觉引导的情况下，仅凭触觉就能从一堆混杂物品中准确找出指定目标，如从水果箱中识别出苹果，成功率高达92%。在对50种不同材质如金属、塑料、木材、织物等的触摸分类任务中，综合识别准确率达到了94%。

此外，集成了SuperTac技术的灵巧手还能快速检测物体表面的温度分布异常，例如定位电路板上的过热元件，展现了在工业质检和食品安全领域的应用潜力。

丁文伯介绍，这些触觉感知能力的展现，让SuperTac在具身智能和人形机器人领域有广阔的应用前景。针对当前机器人缺乏精细的触觉感知能力的问题，该技术有望让机器人不仅能看，还能真正感受。此外，在智能制造、农业自动化等领域都有广阔应用空间。比如在极端环境下进行设备维修、在黑暗中进行搜救作业，SuperTac的多模态感知能力都能发挥独特作用。

当然，我们清晰地认识到，一项技术从实验室走向实际应用还面临一些挑战。丁文伯指出，首先是成本问题，目前多光谱成像系统与精密加工的制造成本较高，需要通过优化工艺和材料，以达到工业界可接受的水平。其次是耐用性验证，实验室与真实工业环境差别较大，该技术在高温、低温、粉尘等恶劣条件下的应用有待测试验证；此外，不同应用场景需要针对性地优化算法模型。未来，研究团队也将在这些方面展开探索和优化。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s44460-025-00006-y

作者：丁文伯等 来源：《自然—传感器》

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转发