

穿上 1 毫米厚的“超级光电皮肤”，拥有 10 种感知能力

● 本报记者 刁雯蕙

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，未来机器人能否像人类一样“感受”外界呢？

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，开发出名为 SuperTac 的多模态高分辨率触觉传感器，并将其集成在仅 1 毫米厚的薄膜上，如同为机器人穿上“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 94% 以上。近日，相关研究成果发表于《自然 - 传感器》。

这项技术不仅突破了以往触觉传感器功能单一且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。

受鸽子视觉系统启发

机器人触觉感知技术长期面临“想要功能多，精度就差；想要精度高，功能就少”的两难局面。该技术主要基于电子皮肤和视觉传感器两种方式，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。这就像“盲人摸象”，有的只能感知温度，有的只能感知压力，如果将几种传感器拼接在一起，虽勉强还原物体全貌，但

器件笨重且感知不准确。

“我们尝试从光学角度来解决这个难题，当时鸽子这种非常聪明的生物进入了我们的研究视野。”丁文伯介绍，与人类眼睛的 3 种感光细胞不同，鸽子的眼睛拥有 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，这赋予了它们独特的磁导航能力。

受鸽子视觉系统启发，研究人员开发出一种多模态高分辨率的触觉传感器 SuperTac。他们利用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 4 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。这套成像系统就像给机器人配了一台“全彩夜视仪”，不仅能捕捉物体表面信息，还能获取颜色、温度分布、内部形变等多维信息。

为实现这些多维信息的同步采集，研究人员在传感器表面制备了仅为 1 毫米厚的薄膜。这层薄膜集成了 4 层结构：最外层是导电层，通过摩擦起电识别材质；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；最底层则是可充气硅胶层，能像气垫一样通过

调节气压来改变软硬度。

“这 4 层结构配合起来，就像给机器人穿上了‘超级光电皮肤’，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。

有触觉、懂触觉

“这是一个黄色的陶瓷杯，表面光滑，温度略高于室温。”实验室里，集成了 SuperTac 的灵巧手触摸杯子后，能准确说出杯子的颜色、材质、温度等信息。

除了“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。它如同机器人的“触觉翻译官”，当传感器收集到图像和数字信号后，DOVE 能够将这些信号翻译成人类能懂的语言。

“比如，我们向机器人发出指令‘帮我找一个软的、温暖的东西’，它就知道要去触摸不同物体，并根据柔软度和温度来判断。如果我们对机器人说‘小心，这个很脆’，机器人就会自动调整抓取力度。”丁文伯介绍说，DOVE 让机器人不仅“有触觉”，还“懂触觉”，真正实现了人机之间的自然交流。

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，成功率高达 92%。在金属、塑料、木材、织物等

50 种不同材质的触摸分类任务中，综合识别准确率达到 94%。

此外，集成 SuperTac 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，展现出在工业质检、食品安全等领域的应用潜力。

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”。同时，该技术在智能制造、农业自动化等领域也有广阔应用空间，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，我们清楚地知道，一项技术从实验室走向实际应用还面临多重挑战。”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；最后，不同应用场景需要针对性地优化算法模型。未来，研究团队将在这些方面进行探索和改进。

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

2025 年，糖尿病与肥胖新研究推动全球代谢性疾病防控

(上接第 7 版)

“三靶点”药物:2025 年 12 月 11 日，礼来公司公布了其潜在“first-in-class”三重激动剂瑞他鲁肽(Retatrutide)——一种靶向 GLP-1/GCG/GIP 受体的多肽疗法在 3 期临床试验 TRIUMPH-4 中的积极结果，该试验旨在评估其在患有膝骨关节炎、无糖尿病的肥胖或超重成人患者中的安全性与有效性。结果显示，两种剂量的瑞他鲁肽(9 毫克与 12 毫克)均达到所有主要终点及关键次要终点。基于疗效估计和治

疗方案估计两种统计方法，治疗 68 周后，药物在减重、缓解疼痛及改善躯体功能方面均取得显著效果。在共同主要终点方面，瑞他鲁肽治疗实现最高平均减重 28.7%(约 32.3 kg)，疼痛程度最高平均降低 4.5 分，降幅达 75.8%。

中国在多靶点减重药物研发领域持续突破，由联邦生物研发的中国 1 类创新药 GLP-1/GCG/GIP 三重受体激动剂 UBT251 进入临床阶段。在该药的 1b 期临床试验中，受试者被分为三组，分别接受三种不

同剂量方案(1mg、1mg/3mg、1mg/3mg/6mg)。连续给药 12 周后，在最高剂量组中，完成试验的受试者平均体重较基线下降 15.1%，而安慰剂组受试者的平均体重较基线增加 1.5%。UBT251 已在中国获批开展针对成人 2 型糖尿病、超重或肥胖、代谢相关脂肪性肝病(MAFLD)和慢性肾脏病(CKD)的临床试验。2025 年 3 月，联邦制药与诺和诺德宣布达成 GLP-1/GIP/GCG 三靶点受体激动剂 UBT251 独家许可协议。

综上所述，2025 年糖尿病与肥胖领域在流行病学数据更新、机制研究突破及治疗手段创新方面取得显著进展。从多靶点药物研发到干细胞治疗突破，从疾病定义革新到临床指南更新，这些成果为全球代谢性疾病防控提供了新策略。未来需进一步加强跨学科协作，推动精准医疗与公共卫生政策结合，以应对日益严峻的疾病负担，为建设健康中国及实现全球慢病防治目标贡献科学力量。

(作者单位:中南大学湘雅二医院)