视触觉“同源感知”柔性传感器，让智能识别更精准

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/41600.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！

视触觉“同源感知”柔性传感器，让智能识别更精准。视触觉融合感知能力是具身智能机器人认识世界的关键和难点。当前机器人在识别物体时，视觉和触觉通常是两套独立系统—一个负责看，一个负责摸。两种信息采集的位置不同、时间不同，需要后期算法进行融合。这种分立式的感知方案在复杂操作中容易出现信息错位和信号干扰，限制了对环境的准确感知。

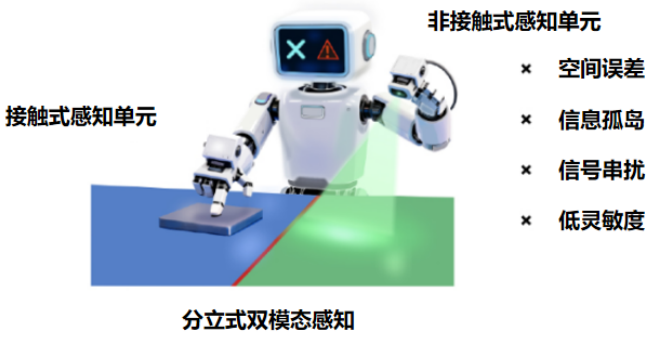
8月20日，中国科学院深圳先进技术研究院材料人工智能研究所研究员陈明、杨春雷团队联合新加坡南洋理工大学教授魏磊团队在《自然—传感》（Nature Sensors）发表的最新研究解决了这一难题。

团队受海胆管足的启发，研发出了一种高灵敏度、低串扰的仿生视触觉传感器，首次在单一柔性材料单元内实现了光电信号与压力信号的同源、同步感知。物体识别的准确率从单一模式最高的80%提升至96%。该研究为柔性多模态传感提供了一种全新的材料与器件范式，有望为具身智能、人机交互和精密制造等领域带来新的同源感知方案。

深圳先进院在读博士生赵彬喆为论文第一作者；陈明、杨春雷、魏磊为论文共同通讯作者。深圳先进院为论文第一单位。

受海胆启发，打破信息孤岛

柔性传感器因其机械适应性和轻量化设计，在医疗健康、机器人、可穿戴电子等领域展现出巨大潜力。当前，传感器在环境的感知方式上，可以实现非接触式感知（相当于看），压力传感器则负责接触式感知（相当于摸）。





示意图：传统视触觉传感器（左）存在离散化，空间偏差，时间偏差等问题，团队研发的视触觉同源感知传感器（右），实现光电-压力信号同位置、同步感知。研究团队供图

然而，目前大多数系统的光电单元和压力单元在空间上分离布置，两种信号采集的时间也不同步，需要后期算法进行融合。这就形成了‘信息孤岛’，使得传感器在物体材质区分、动态环境感知、多物理场同步监测等复杂任务中容易出现信息错位和信号干扰，限制了系统对环境信息的综合理解能力。论文共同通讯作者、深圳先进院研究员陈明解释。

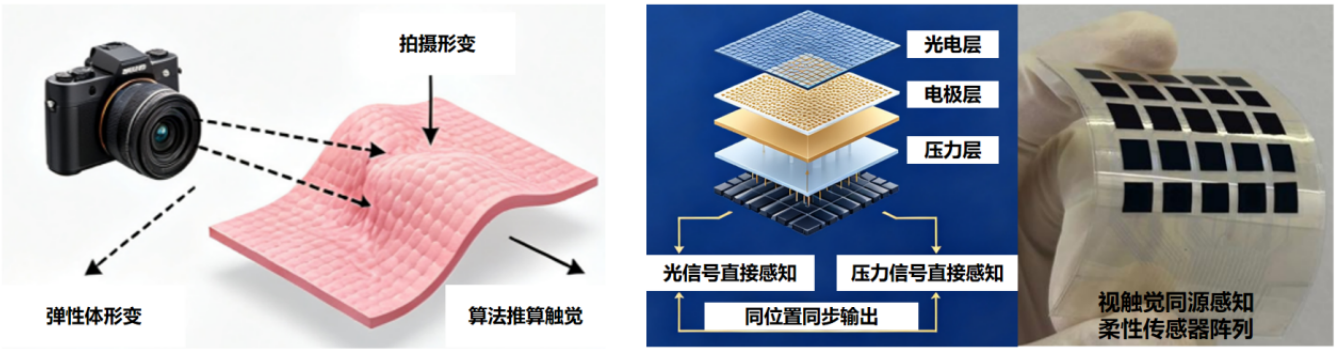
另外，在设计双模态柔性传感器时，存在硅基材料脆性大、胶体量子点载流子迁移率低、二维材料光吸收效率不足等多重挑战。压力传感器普遍面临非线性响应和界面失稳等问题。

研究团队注意到，海胆的管足在自然界中是一种独特的感知单元——感光细胞和机械感觉细胞集成在同一个生物结构内，能够实现局部的信息整合。受此启发，团队提出了一种新的设计思路：将光电感知和压力感知集成到同一个柔性材料单元中，实现同源、同步的视触觉感知。

同源同步感知，识别物体更精准

在该研究中，团队设计了一种垂直集成的传感器结构。器件包含两个功能层—上层为SnSexSy/PTAA光电异质结（负责感知光），下层为PP/FCNT共价键合导电网络（负责感知压力）—通过共享电极垂直集成。两种信号通过独立的通道读出。

该研究历时三年，最大的挑战在于，如何将两种感知功能集成在同一个柔性材料单元内，同时确保信号互不干扰。我们通过模量匹配的力学隔离设计和独立双通道信号读出架构，从力学和电路两个层面解决了串扰难题。陈明介绍。

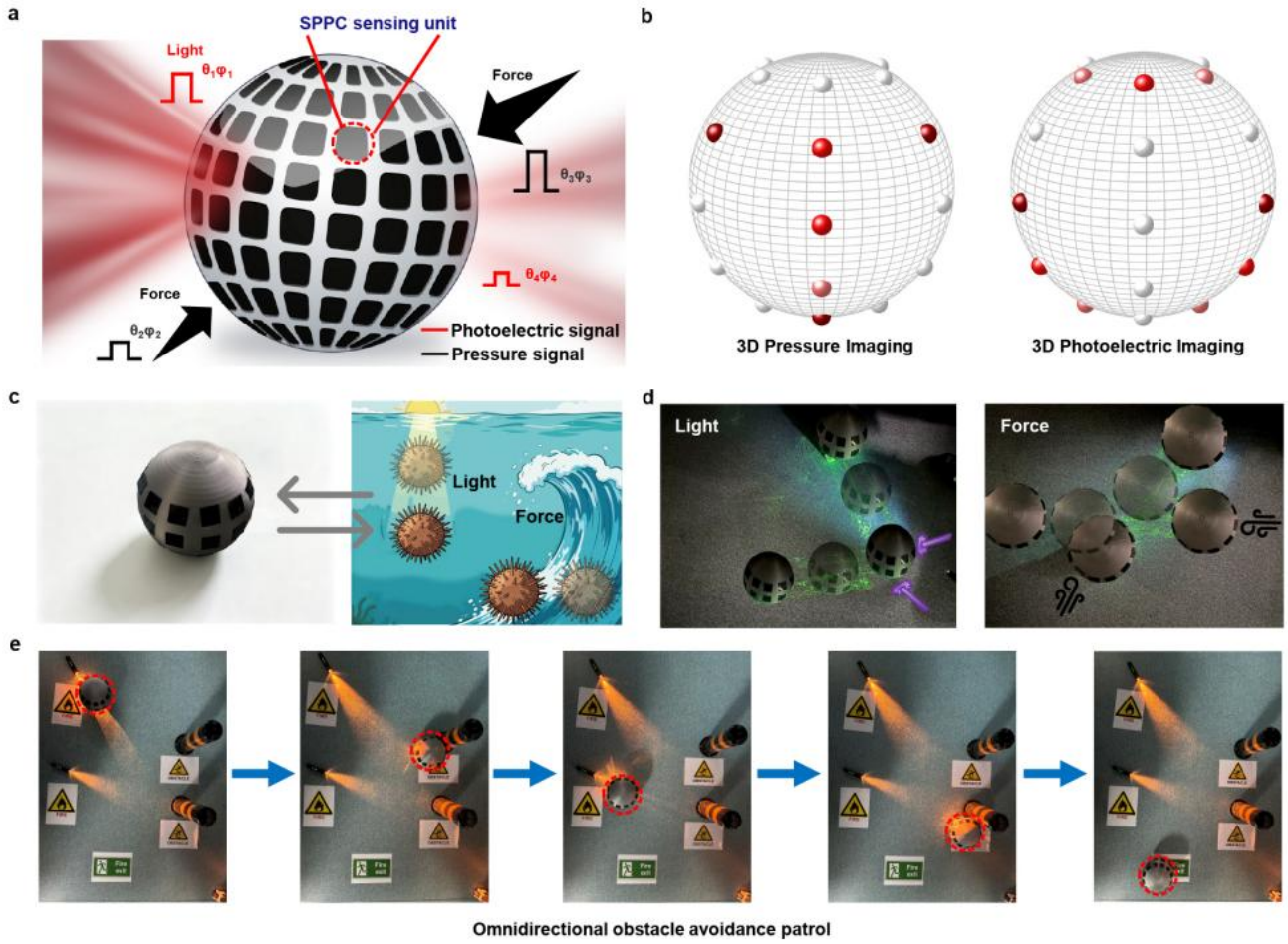


现有视触觉传感路线（左）；团队提出的视触觉同源感知路线及柔性传感器阵列实物图（右）。研究团队供图

在光电层制备中，他们不仅实现了10厘米×10厘米的大面积均匀生长，还通过硫元素的垂直梯度形成了自建电场，促进光生载流子的分离，在300至900纳米波段平均光吸收率达88.7%。在压力层制备中，研究团队将功能化碳纳米管均匀包覆在聚丙烯纤维表面，形成共价键合互锁包覆微结构，解决了传统导电填料与聚合物基体之间界面结合弱、循环载荷下易脱粘的问题。

实验数据显示，该传感器在0至40千帕范围内的压力灵敏度为245.41每千帕，线性度R2>0.99；在390纳米光照下光响应度为85.31安培每瓦；光电-压力通道间的串扰系数小于1%。这表明，传感器在感知不同材质表面的细微差异时具有较高的敏感度，同时也验证了光电与压力两种信号能够各自独立工作、互不干扰。陈明解释。

研究团队进一步验证了该传感器在三种典型场景中的实用性。在物体识别中，5×5传感器阵列对铝合金、尼龙、硅橡胶等10种不同材质和结构的物体进行识别时，纯光模式准确率仅41%，纯压力模式为80%，而光电-压力同源模式的准确率提升至96%。在机器人导航中，集成了36个传感器的球形机器人，在模拟火场中的自主导航成功率达94%。在土壤监测中，该传感器同时追踪了土壤湿度和光照强度的日变化规律，在园土、细河沙、红黏土三种土壤类型中的双模态识别准确率超过99%。



团队研发的视触觉同源感知柔性传感器用于三维曲面成像及智能导航。研究团队供图

在实际场景中，单一模态的信息往往不够，需要两种感知方式协同工作。陈明说道。该研究首次将海胆管足的仿生范式转化为人工材料体系，为柔性多模态传感提供了全新的设计思路。它证明了同源同步感知在原理上的可行性，实现了从传统的先看后摸到全新的同源感知的技术转变，有望为具身智能、人机交互和精密农业等领域提供新的技术选项。

目前，团队相关核心传感器专利已获得授权，并获批了深圳市光电异质集成传感器中小试基地，与多家龙头企业建立合作关系，推动柔性传感器在具身智能、智能制造、医疗健康等领域的产业化应用。

未来，研究团队将进一步推进该传感器的小型化和阵列化集成，探索其在灵巧手视触觉感知等场景中的应用。（来源：中国科学报 刁雯蕙）

相关论文信息： https://doi.org/10.1038/s44460-026-00127-y

作者：陈明等 来源：《自然—传感》

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