

让机器人拥有类人“灵巧手”

■ 赵广立 赵宇彤

为了让机器人拥有无需人为操纵且像人手一样具有灵活操作能力的手，北京大学人工智能研究院助理教授朱毅鑫潜心研究了3年多。现在，该研究成果终于亮相了。

6月9日，朱毅鑫团队与北京大学武汉人工智能研究院等国内外科研团队合作研究的成果“高分辨率触觉感知机器手实现类人适应性抓取”在线发表于《自然—机器智能》。审稿人评价称：“这一成果对机器人和整个人机交互领域都有重要贡献。”

“机械手能像人手一样在不确定环境中保持高效灵活的操作能力，这对机器人在家庭、医疗和工业环境中的应用至关重要。”朱毅鑫在接受笔者采访时说。

既有运动能力又有触觉

如果给手指涂上阻断触觉的麻药，你会发现，连拿起水杯这样简单的操作都变得异常困难。

“日常手部动作之所以感觉很简单，是因为其强烈依赖触觉。”朱毅鑫告诉笔者，人的手部结构复杂，功能极为精密，27块骨骼和34块肌肉赋予了每只手24个自由度的灵活性，“因此，对人类手部功能的研究是具身智能与机器人学科的前沿。”

在抓取物体时，人手会发挥“触觉反馈”和“运动功能”两大能力：触觉反馈包含通过肌肉、肌腱和关节感知力量的运动觉，以及通过皮肤感知接触状态、纹理、温度、摩擦力等物理特性的皮肤触觉；而运动功能则蕴含着与关节角度、位置及其运动之间关系的运动学，以及实现精准运动控制的动力学。

既然手部触觉如此重要，为何不能让机械手既有运动能力又有触觉？

他们不是第一个想到这些的团队。但在以往研究中，触觉反馈与运动能力的整合一直是机器人研究领域面临的重大挑战。

首先，触觉传感器的引入会对机器人的运动灵活性造成显著影响；其次，即便



全触手与人手比较 ■ 资料图

机械手获得了具备高分辨率触觉感知能力，如何高效处理大量触觉数据，并以此驱动每个关节协同运动，使其在高自由度空间像人手一样完成抓取等任务，同样是“拦路虎”。

这也正是朱毅鑫团队“秀操作”的部分，受人类手部生物结构的启发，他们设计开发了“基于全手触觉的机器人仿生手”(F-TAC Hand，以下简称“全触手”)，其过人之处在于可通过传感器与结构一体化设计突破上述瓶颈。

全触手有哪些精巧设计

简要来说，人类手部触觉系统由两个关键要素组成——遍布皮肤的密集触觉传感器阵列和大脑皮层中专门处理和解释这些海量感知输入的神经处理机制。

“全触手正是模拟了这种设计。”论文第一作者、北京大学人工智能研究院博士生赵秭杭介绍说，他们将17个高分辨率触觉传感器以6种不同配置集成在一起，并将其覆盖在五指机械手除“关节”外所有区域，让全触手拥有了能感知物体大小、硬度等物理性质的指尖、指腹和手掌。

赵秭杭说，高分辨率触觉传感器覆盖了机器人手掌表面70%的区域，空间分辨率达0.1毫米，“相当于每平方厘米约有

一万个触觉像素点，让机器人也能进行精确操作和适应性抓取”。

那么，全触手的适应性抓取能力是从哪儿获得的？

秘密藏在细节里。朱毅鑫说，团队在每个触觉传感器前都放置一层薄膜和一台微型高速摄像机，这让其能“看到”动作的细微变化——当全触手“看到”自己的操作，就能根据情况调整抓取策略。

当然，这也离不开算法的助攻。论文共同第一作者、北京大学人工智能研究院博士生李宇飞解释说，他们基于概率模型开发了一种生成人类多样化抓取策略的算法，涵盖了人类常见的19种抓取类型。在抓取生成算法的加持下，全触手就像拥有了份包含多样化策略的“说明书”，后者为其提供了丰富的抓取选择。

“除了夹持单一物体外，全触手还能通过全手高分辨率触觉，提前预判多物体抓取时因执行误差导致的物体碰撞风险，并及时调整运动策略。当在现实环境中检测到此类风险时，全触手可在约100毫秒内感知并快速切换策略。”李宇飞说，“我们的算法支持了全触手熟练执行从常用的‘力量抓取’到‘精准抓取’等多种抓取动作类型。”

值得一提的是，在全触手的整体设计中还有一个巧妙构思贯穿其中：将传感器设计为“既是感知元件又是结构部件”，从

而在不牺牲灵活性的前提下，实现了前所未有的触觉覆盖范围。赵秭杭告诉笔者，所有这些设计保障了全触手能够像人手一样，在抓取过程中实时感知触觉变化并迅速调整，这极大提升了机械手在不确定环境中的操作稳定性。

据团队介绍，600次真实世界的实验数据显示，相比没有触觉反馈的系统，全触手的多物体抓取平均成功率从53.5%提升至100%。

为理解智能本质提供全新视角

据了解，朱毅鑫团队的这项成果是有研究记录以来，国际上首个同时具备全手高分辨率触觉感知和完整运动能力的机器人手系统。

也正因如此，以该成果为主体的论文审稿速度之快，超出了朱毅鑫的想象。“论文投稿后150天就确定被接收了。”

朱毅鑫认为，他们的研究不仅是技术上的突破，更为理解智能的本质提供了全新视角。

“人类智能植根于身体的感知能力，尤其是手部的触觉体验对我们认知世界至关重要。”朱毅鑫说，“全触手的成果表明，丰富感知能力对于机器智能的发展同样不可或缺。”

近年来，以大语言模型为代表的基于数据训练和推理的人工智能取得了显著进步，但在真实世界中，机器人的感知和交互能力还存在诸多不足。

“我一直有一个目标，就是让机器人变得更智能、更泛化。”赵秭杭从小就对机器人有浓厚兴趣，本科的机电工程专业又为其打下良好基础。“我一直在思考如何提高机器人的交互能力，要想实现和物体、环境的交互，至少需要一个闭环的反馈系统，而触觉就提供了机器人与物体交互状态的直接反馈。”

朱毅鑫觉得，全触手这项成果代表着机器人乃至通用人工智能的未来。“未来我们将继续深化触觉感知与机器人控制的结合，探索更加智能的体感交互范式，为实现真正意义上的通用人工智能奠定基础。”

科普中国
CHINA SCIENCE COMMUNICATION

中国科协主办



科普中国APP

新成果实现全球百万湖泊精准动态监测

近日，清华大学水利水电工程系教授龙笛团队成功揭示了全球百万湖泊水域面积的多尺度动态与季节性主导机制，在世界范围内打破了长期困扰遥感水文界的“时间一空间”权衡瓶颈，推动全球湖泊遥感监测从“静态观测”迈入“高精度动态解析”。相关研究成果在线发表于《自然》。

现有权威数据集为全球湖泊变化提供了重要参考，但在时空连续性与季节性动态监测方面存在不足。为突破这一关键瓶颈，龙笛团队构建了一套融合MODIS卫星传感器时间分辨率优势与GSW空间分辨率优势的深度学习遥感大数据融合框架，借助清华大学高性能计算集群“探索1000”及云计算平台，累计消耗计算资源超8万个机时，完成了遥感大数据处理与深度学习模型训练，构建了迄今时空分辨率最高、覆盖范围最广、连续性最强的全球湖泊水域面积时序数据集，实现了对全球约140万个湖泊在月尺度、30米空间分辨率下的水域面积连续监测。

研究还发现，季节性极端事件可以在短期内显著放大或抵消湖泊几十年来的长期趋势。这为理解极端气候事件对湖泊生态系统和水资源安全的冲击提供了科学依据，也为未来湖泊温室气体通量估算、生态环境保护及极端水文事件响应策略的制定提供了理论支撑。

陈彬

江苏海安：赶订单忙生产



6月11日，在位于江苏省海安市墩头镇的科众(南通)新材料科技有限公司，工人正在生产线上忙碌，赶制出口订单产品。周强

机器人打哈欠黑猩猩会传染

《科学报告》6月5日发表的一项研究发现，看到模仿人类面部表情的机器人打哈欠，黑猩猩会被“传染”。该研究表明，黑猩猩在看到机器人打哈欠后也会打哈欠并且躺下，说明这或许是一个休息信号，而不只是简单诱发了自动反应。

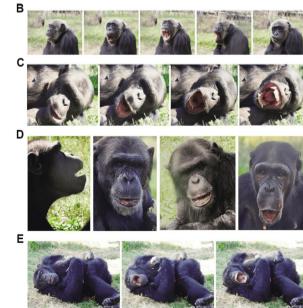
传染性哈欠是指看到另一个动物打哈欠也会引发自己打哈欠。这种行为主要在哺乳动物和一些鱼类中被观察到。尽管打哈欠和哈欠传染的演化起源仍然未知，但包括人类在内的有些动物确实能被其他物种的哈欠“传染”。

英国伦敦大学的Ramiro Joly-Mascheroni、Beatriz Calvo-Merino和同事使用一个能模仿面部表情的机器人头，测试了14只10~33岁成年黑猩猩的反应。这个机器人头含有33个旋转电机，能充当肌肉并生成打哈欠等面部表情，每个面部动作持续10秒。

在测试中，每只黑猩猩观看4段、每段15分钟的机器人“打哈欠”“张嘴”以及“中性”的面部表情。每一段都由相机拍摄下来，每只黑猩猩的反应以及它们躺下的时间都会被打分。14只黑猩猩中的8只(57.1%)对机器人的“哈欠”做出了传染性哈欠的反应，同样数量的黑猩猩做出了躺下的反应，有些在躺下前还准备了床铺。

作者认为，这些发现似乎首次展示了来自无生命模型的传染性哈欠。他们指出，这一反应背后的机制仍不清楚，进一步研究或能探索机器人的其他行为是否对动物具有传染性。

赵熙熙



图中展示了黑猩猩打哈欠和躺下的行为示例 ■ 资料图

“大规模进食”蜥脚类恐龙靠肠菌分解植物



戴曼蒂纳龙进食场景复原图 ■ 资料图

作为侏罗纪和白垩纪时期全球最具生态影响力的陆地草食动物之一，蜥脚类恐龙的“食谱”都有哪些？近日，科学家通过分析蜥脚类恐龙体内保存完好的胃内容物，证实了这些巨型生物是“不加选择”的植食动物，并几乎完全依赖其肠道微生物进行消化。相关研究发表于《当代生物学》。

“在此之前，尽管蜥脚类恐龙的化石遍布各大洲，并且该群体在地球上存在了至少1.3亿年，但从未发现过真正的蜥脚类恐龙胃内容物(即结肠石)。如今，这一新发现证实了基于解剖学研究以及与现代动物比较而提出的多个关于蜥脚类饮食的假设。”论文作者、澳大利亚科廷大学的

Stephen Poropat说。2017年夏天，研究人员在发掘一具相对完整的、可追溯到白垩纪中期的亚成年戴曼蒂纳龙骨骼时，注意到一层异常且破碎的岩石层，似乎包含了蜥脚类恐龙的结肠石，其中还有许多保存良好的植物化石。

对结肠石内植物样本的分析结果表明，蜥脚类恐龙可能仅对这些食物进行了最低限度的口腔处理，仅依赖发酵和肠道微生物群进行消化。结肠石由多种植物组成，包括针叶树的树叶、种子蕨类果实以及被子植物的叶子，这表明戴曼蒂纳龙是一种不加挑拣的“大规模进食者”。

同时，研究人员还在其中发现了被子植物和裸子植物的化学生物标

志物。“这意味着至少有些蜥脚类恐龙并不是选择性进食者，而是吃任何能够触及并安全消化的植物”，Poropat解释道，“这很大程度上证实了过去关于蜥脚类恐龙在整个中生代对全球生态系统有着巨大影响的观点。”

此外，研究人员还惊讶地在恐龙胃中发现了被子植物。“在这只蜥脚类生存的约1亿至9500万年前，澳大利亚的被子植物多样性已与针叶树相近，这表明蜥脚类在化石记录首次出现被子植物后的4000万年内，已成功适应食用开花植物。”Poropat说。

基于这些发现，研究团队推测戴曼蒂纳龙很可能在达到成年之前既吃低矮植物也吃高大植物。作为幼崽，蜥脚类只能接近地面附近的植物，但随着它们的成长，它们的可行饮食选项也随之增加。此外，结肠石中小芽、苞片和种子荚的普遍存在也暗示了亚成年戴曼蒂纳龙会瞄准针叶树和种子蕨的新生长部分，也是更容易消化的部分。

不加选择的大规模进食策略似乎让蜥脚类恐龙在1.3亿年间可以良好生存，并可能促成了一个种群的成功延续。但Poropat指出，这项研究所描述的仅是一个数据点，还无法确认这些保存在蜥脚类体内的植物是否代表了它的典型饮食或是受压动物的饮食。同时，胃内容物中的植物对幼年或成年蜥脚类有多大的代表性、季节变化对蜥脚类的饮食影响等，尚需进一步解答。

蒲雅杰



近日，位于河北省承德市围场满族蒙古族自治县红松风力发电场，一台台风机组随风转动，源源不断输送着绿色能源。孙占军

甘肃兰州：高标准农田灌溉项目建设正酣



6月10日，甘肃省兰州市兰州新区秦王川盆地的高标准农田灌溉项目建设现场一派忙碌景象。该项目建成后将为当地农业丰富水源，进一步改善农业生产条件，推动农业向集约化、规模化发展。许岗

河北围场：清洁能源产业助力经济发展



近日，位于河北省承德市围场满族蒙古族自治县红松风力发电场，一台台风机组随风转动，源源不断输送着绿色能源。孙占军