

聚焦世界机器人大会(下)

今年世界机器人大会展示的机器人展品中,已经有不少走向社会应用实际。这背后,离不开类人触觉技术的不断发展。这项技术让越来越多的机器人拥有一双触觉灵敏的“灵巧手”。

过去10年,我们教会机器人看、听、说,乃至复杂的运动,却迟迟未能赋予它们一双能感知世界的“手”。当机器人从数字空间走向物理世界,触觉不再是锦上添花的附加功能,而是决定机器人能否安全、精准、可靠做事的核心能力。

如今,随着具身智能技术的发展,类人触觉技术也取得了巨大

进步。

今年6月,中国科学技术大学科研团队在《先进材料》杂志发表重要研究成果:他们将一款受鱼鳞结构启发而研制的巨压传感器,集成于机械手指尖,结果显示,当机械手抓握猕猴桃时,传感器能通过抓握时的力度反馈,准确判断猕猴桃的成熟度,判断准确率高达92%。

那么,机器人追求的“类人触觉”到底是什么?类人触觉技术发展的进度如何?请看本期关注。

■郭宁 刘松林 张洪广

类人触觉:机器人能力跃升的“关键底座”

脱离物理感知的智能是不完整的

要理解机器人为何必须拥有触觉,不妨从人类对自身的认知出发。

人类的触觉,是对物体边界与表面的感知。哲学家亚里士多德曾将触觉置于感官的中心,视其为最基本、最重要的感觉,甚至可以称得上是其他感觉能力的综合基础。

这一古老的智慧在现代机器人学中得到了印证。

物理AI技术的本质在于与真实世界交互并展开有效行动,而“力”是交互得以实现的基础。没有触觉反馈,机器人就无法判断抓握力度是否合适,无法感知地面是否湿滑,更无法在与人接触时做到安全可靠。传统AI“活”在由0和1构成的数字世界里,它能用优美语言描述重力,却不能觉察玻璃杯掉在地上会碎;它能写出物理定律公式,却不会意识到湿滑的地面容易让人摔倒……这些对人类轻而易举的动作对机器人却异常艰难——这种现象,被学术界概括为“莫拉维克悖论”。

脱离物理感知的智能是不完整的。在具身智能时代,触觉是连接机器人被动观察与主动交互的桥梁。当机器人在黑暗中摸索开关、在烟雾弥漫的火灾现场定位幸存者、或在手术台上感知人体组织的状态时,触觉就是它最可靠的“眼睛”。可以这样说,类人触觉技术是人工智能从虚拟信息层跨越到真实行动层的关键支撑。

更重要的是,触觉还能智能生成提供不可替代的物理锚点。当前主流的“视觉—语言—动作”模型主要依靠海量视频与文本数据进行训练,但这些数据本质上由第三方提供,缺少交互过程中的力、摩擦、形变等“第一人称视角”的物理体验。没有触觉,机器人学到的只是动作的“样子”,而非动作背后的“道理”。唯有将触觉信号纳入机器人完整的学习闭环,智能体才能建立起符合物理规律的世界模型,实现从模仿到理解的跨越。

“类人触觉”究竟在感知什么

有人简单认为,“类人触觉”等同于在机器人身上安装几个压力传感器。

实则不然。人类的触觉系统极其精密,能同时感知力度、温度、纹理、硬度、黏度等多重物理属性。比如,皮肤能根据不同物体热传导速率的微小差异,区分金属、木材、陶瓷、塑料等不同材质。



图①:第二届世界人形机器人运动会上,机器人参加“灵巧手”专项赛。

新华社发

图②—图④:这是今年世界机器人大会上展示的不同类型“灵巧手”。

本报记者 程雪摄



机器人追求的“类人触觉”,正是要复刻乃至超越这种多维感知能力。

——复刻人类感知信息的维度。“类人触觉”需要学习识别物体的表面特征,比如纹理粗细、颗粒感和光滑度;需要学习捕捉空间特征,比如轮廓、形状和体积;还需要学习判断材料属性,比如软硬度、密度和黏度……

——拓展人类做不到的其他维度。例如,通过训练,机器人的“类人触觉”还可以感知高频振动、微弱电磁场或特定波长的光信号等。

这意味着,“类人触觉”追求的绝非单一的数据传感能力,而是一种多模态、高分辨率、分布式的综合感知系统。它要求机器人像人类一样,在指尖、手掌乃至全身皮肤上形成密集的触觉感知网络,实时获取压力分布、摩擦变化和滑动趋势等信息,进而在与物理世界的动态交互中获得与人类类似的触觉感受,完成精细操作。

此外,“类人触觉”的感知范围还包含一种容易被忽略的“时间维度”。人类能通过触觉感知物体的动态变化过程,比如面团在揉捏中逐渐变软、冰块在握持中慢慢融化、螺丝在拧紧时阻力渐增……这种对物理状态演变的连续追踪能力,也是机器人完成日常任务时必须具备的。

从单一压力传感到多模态融合的技术路径

如今,类人触觉技术的感知方式已从早期的单一压力传感,迈向柔性化、多模态的“电子皮肤”新阶段。

在硬件层面,受自然界启发,研究者开发出多种触觉传感器:早期使用泡棉、橡胶等柔软材料包覆传感器外层保证其灵活性;后来研制出在柔性基底中嵌入电阻、电容或压电元件的

电子皮肤,它能同时检测压力、温度和湿度;光学触觉传感器能提供高分辨率的触觉图像;磁传感器利用磁体位移感知接触力,响应速度极快……这些多样化的传感方式并非孤立存在,而是像人体不同部位的皮肤拥有不同密度的感受一样,使机器人可以根据任务需求混合使用。

在算法层面,“类人触觉”正深度融入多模态大模型。过去,“视觉—语言—动作”模型虽能让机器人理解指令并生成动作,但因缺乏触觉反馈,机器人在执行接触密集型任务时常常出现力控失误。如今,研究者们提出了“视觉—触觉—语言—动作”框架,通过双路神经网络分别处理视觉与触觉数据。例如,上海交通大学联合一家名为帕西尼感知的科技公司共同提出OmniVTLA模型,该模型在“抓取放置”实验中,使“灵巧手”的抓取成功率提升至100%。

“类人触觉”如何影响机器人的未来

拥有了“类人触觉”,机器人的能力将迎来飞跃。

在精细操作领域,“类人触觉”帮助机器人从“能抓住”进化为“抓得稳”。通过实时检测压力分布与切向力变化,机器人能在物体滑落前瞬时调整握力;通过按压时的受力反馈,机器人能区分软橡胶与硬塑料;借助光学触觉传感器的三维重建能力,它甚至能在与物体局部接触时修正物体姿态,实现高精度装配。

在探索与导航场景中,“类人触觉”成为人类“视觉失效”时的可靠备份。农业采摘时叶片遮挡果实、灾后救援中烟雾弥漫、水下作业时光线昏暗……在这些极端环境下,触觉传感器能直接通过触摸定位物体位置,支撑机器人自主探

索。还有更进一步的“主动触觉探索”策略,它让机器人像人类一样边摸边学,通过挤压、滑动、轮廓跟随等动作主动获取物品信息,建立更稳健的环境模型。

在人机交互与安全方面,全身覆盖



②



③

的类人触觉皮肤赋予机器人与人类安全交互的能力。它能在与人接触时感知力度大小,避免与人发生危险碰撞;在医疗康复场景中顺应人的动作意图,实现可靠的物理交互……未来服务机器人走进家庭、医院和养老院,直接提供与人接触式服务时,这种能力至关重要。

展望未来,随着大模型技术的成熟,机器人或将具备“语义化”触觉能力。

想象一下,在微创手术中,主刀医生通过遥控操作机器人切除肿瘤,机械臂末端的触觉传感器实时感知组织硬度差异,并将“此处质地异常坚硬,疑似钙化灶,建议暂停切割”这样的语义化提示反馈给医生。

这种将物理感知转化为可理解、可决策的临床知识的能力,是类人触觉技术在高风险、高精度场景中不可替代的价值所在。它将不再只是提供简单的反馈信号,而是成为医生的判断依据,真正实现“触而知其理”。

当然,挑战依然严峻:触觉传感器的耐用性与规模化制造仍是瓶颈;大规模、标准化的触觉数据较为匮乏;触觉信号的时空复杂性对大模型提出巨大算力要求;跨传感器、跨任务的泛化能力尚待验证……

从“可对话”到“可触摸”,人类与人工智能的交互、机器人与世界的交互,正迎来一次深刻的范式转换。类人触觉,这个曾被低估的感官模态,如今正成为具身智能技术拼图中最关键的一块。当机器人真正拥有了像人类一样敏锐的触觉,它将不再是冰冷的机械装置,而成为一个能感受、能理解、能温柔触碰这个世界的智能体。

用指尖敲开真实世界的大门

■程雪

编辑手记

在人类文明史上,触觉常常是一种被低估的感官。

我们赞美用视觉看到的绚烂景色,歌颂用听觉感受到的曼妙歌声,却很少为指尖的感知写下颂歌。但细想起来,婴儿认识世界的第一步,不仅是看,还是触摸——摸母亲的脸,摸玩具的棱角,摸衣服的温度……

今年世界机器人大会上,我们欣然见到“类人触觉”已经开始走出实验室,走向“应用层”——游初智能公司展出了一款“五指诊脉灵巧手”,3根机械手指轻触参观者腕部,其装配的高灵敏度传感器就能捕捉到脉搏跳动引起的微小振动;汉威科技发布了全球首款电容式全身电子皮肤,它能像衣服一样覆盖机器人全身;赛盛科技展台前,观众把指纹、硬币甚至树叶按在传感器表面,大屏幕就能同步呈现这些物体清晰的纹理……如今,“类人触觉”正从“能否感知”走向“感知能有多细腻”,从数据的理论世界走向现实世界,用指尖敲开真实世界的大门。

曾几何时,AI大模型能写论文、编

程序、生成逼真图像。可走进物理世界后,拧开瓶盖这一简单动作,对它们来说都是一场高难度挑战。途见科技公司创始人赖建诚有这样形象的比喻:“就像在冰天雪地里操作手机,冻僵的双手很难打字——这就是缺乏触觉感知的机器人所面临的困境。”

这种割裂,恰恰揭示了曾经AI技术发展的盲区:我们把AI单纯等同于对信息的处理,却忘记了AI与现实世界的交互。

如今,随着类人触觉系统的不断发展,机器人与真实物理世界的距离越来越远。据悉,今年上半年,福莱新材公司与灵心巧手、中科硅纪公司签下触觉传感器框架采购订单——触觉感知正从“样机演示”的可选配件向“量产标配零部件”演进;深圳一支平均年龄仅20余岁的团队,有效解决了触觉传感器“卡脖子”技术,实现核心技术100%国产化。

不过,电子皮肤的构成是一套复杂的结构,它像一块极其复杂的多层“三明治”——通常由封装层、传感层、电极层、电路层、结构层组成。系统集成难度极高,决定了触觉传感器的发展仍需科研人员久久为功。

我们期待未来机器人的触觉能有更大进步!

热点追踪

近日,美军与亚马逊、火箭实验室、约克太空系统等5家公司签订合同,以加强建设新一代太空数据网络。

早在今年5月26日,美军已与SpaceX公司签署总额22.9亿美元的合同,用于建设太空数据网络的骨干网体系。根据协议,SpaceX公司需在2027年底前交付具备全面运行能力的原型系统。

这些举措,标志着美军太空数据网络项目已从规划论证迈入工程实施阶段。

美军为何加大对太空数据网络的投入?这背后,是美军试图以低轨卫星构筑导弹防御系统信息底座的构想。通俗地说,即美军想借助太空数据网络应对高超音速武器。

作为新域新质作战力量的代表,高超音速武器以速度快、射程远、飞行轨迹多变的优势,成为一柄穿透传统导弹防御体系的“利剑”。

能应对高超音速武器吗

■黄馥艳 赵屹

2022年,俄军的“匕首”高超音速导弹成功摧毁了乌军地下大型导弹和航空弹药库。截至目前,俄军已在俄乌冲突中多次使用“匕首”“锆石”“榛树”等高超音速武器,对乌军的军事指挥机构、军工厂等目标进行打击,展现了高超音速武器在现代战场的强大实战效能。

在这一背景下,统筹构建天基预警探测网络与高速智能数据传输体系,补齐防御体系短板,已成为世界各国破解空天防御困局、筑牢战略安全屏障的核心路径。太空数据网络建设由此受到各国重视。

按照美军的技术发展路径,太空数据网络应对高超音速武器的核心思路,是借助大量低轨卫星星座对目标进行接力探测与持续跟踪,实现近乎实时的低时延数据传输,随后生成精确的火控数据,引导陆基、海基或天基拦截器打击目标。

此外,与传统军用卫星系统相比,美军太空数据网络在系统架构与运行模式上存在结构性改变——

在系统架构方面,它采用混合组网设计,兼容低轨、中轨及地球同步轨道等多类航天器,能够适配跨轨道、跨供应商、跨任务域的多种数据传输需求。简言之,太空数据网络能实现军用卫星和商用卫星间的互联互通,让数据能在各类卫星星座间传输。

在运行模式方面,太空数据网络引入人工智能技术,可以依据任务优先级、链路质量与网络拥堵程度等参数,动态选择数据传输路径,实现数据在不同轨道面及星座间的顺畅流转。

那么,太空数据网络真的能应对高超音速武器吗?

不少专家仍抱有怀疑。从目前来看,尽管太空数据网络有望在局部层面提升对高超音速武器的预警和拦截能力,但它在复杂战场环境下的实际运用成效尚未得到充分检验。

同一时刻,高超音速武器也在朝着速度更高、机动更强、隐身能力更优的方向迭代发展,这也一定程度上加大了人们对太空数据网络效能的观望。