

19 自由度仿生手复现人手级运动能力

● 本报记者 王敏 通讯员 陶哲

捏针、用剪刀、拉拉链、刷手机、打字、下围棋……中国科学技术大学(以下简称中国科大)教授张世武及合作者成功研发出一套具备 19 自由度的轻质仿生灵巧手,能复现人手级别的功能。相关研究成果日前发表于《自然-通讯》。

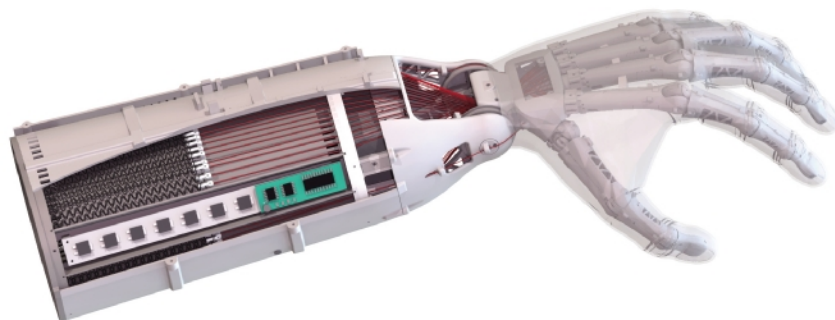
论文通讯作者张世武介绍:“这款 19 自由度假肢灵巧手不仅能提高人形机器人的灵巧操作能力,还有望为全球上千万上肢截肢患者提供手部功能重建与日常生活辅助服务。”

自由与轻巧难以兼顾

手的灵活度是衡量人类以及人形机器人工作能力的关键指标。人手虽然重量约为人体重的 1/150,但其运动功能占全身运动功能的 54%,具有 23 自由度。

假肢灵巧手是一种模拟人手高自由度结构和灵活运动功能的康复辅助器具,能够帮助上肢截肢者完成手势表达、抓握及操作物体等任务,有效提升其生活自主性。

但是,传统假肢灵巧手通常使用功率密度较低的电机驱动,难以在自由度与重量之间达到理想的平衡状态。“患者在佩戴超过人手重量的假肢灵巧手时会感到严重不适。而且,传统假肢灵巧手的自由度比较低,通常少于 10 自由度,只能实现有限的抓握动作,远不及人手的灵活性。”张世武介绍,这些原因使得接近一半的上肢截肢患者放



19 自由度假肢灵巧手。

图片来源:受访者供图

弃使用假肢灵巧手。

因此,找到兼顾高自由度灵巧运动和舒适佩戴重量的设计方法,是假肢灵巧手领域的重要科学问题之一。

精准复现人手 33 种抓握动作

张世武多年从事仿生机器人研究。此次研究团队历时 7 年半,经过多个版本的迭代和优化,成功研发出 19 自由度假肢灵巧手,为实现灵活性和可穿戴之间的理想平衡提供了有效思路。

张世武介绍,这款灵巧手有很多优势:一是非常轻,总重 370 克,佩戴舒适,同时具备较强的抓握能力,最大负载达 2.5 千克,满足患者日常所需。二是具备语音交互能力。研究团队与科大讯飞语音识别技术结合,让灵巧手具备了简单、友好且低成本的人机交互能力,支持 60 种语言和 20 种方言,拥有 95% 的识别准确率和毫秒级的响应时间。

“传统假肢灵巧手通过采集患者皮肤表面的肌电信号识别患者的运动意图。这种肌电技术容易受患者出汗、肌肉疲劳等因素的干扰,需要反复标

定。”张世武说,语音识别技术支持患者直接与灵巧手“对话”,可以将运动意图通过语音输入到灵巧手中。这种方式操作简单、普适性强,有待在截肢患者中普及。

在临床测试中,一名 60 岁女性上肢截肢患者仅用半天时间便熟练掌握了该假肢灵巧手的使用,成功完成了抓握、翻书、系扣等日常生活中的常见操作。

值得一提的是,该假肢灵巧手还展现了操作剪刀、使用手机以及复杂手语手势的能力,精准复现了传统的 33 种人手抓握动作。此外,为提高假肢灵巧手的灵活性,研究团队又增加了 6 种更高难度的抓握动作,比如抓握乒乓球拍、夹取棋子等。

提升性能和使用体验

论文第一作者、中国科大特任副研究员杨浩介绍,这款假肢灵巧手的核心技术在于使用了功率密度高的形状记忆合金。“这是一种由温度诱发的智能材料。通电后,形状记忆合金将进行一

个快速收缩的过程。这个过程类似于人体的肌肉,驱动灵巧手工作。形状记忆合金的功率密度高,意味着相同质量下能够比其他传统驱动器如电机产生更多的输出。”

此外,形状记忆合金质量轻、体积小,有利于集成。得益于此,研究团队设计出假肢手的结构,包括 19 自由度的手掌部分以及前臂部分。

研究团队进一步仿生设计出类肌腱传动系统,在手指及手腕内嵌入 23 组传感单元来实现关节的精确运动控制,并集成包含冷却模块的 38 组阵列式形状记忆合金驱动器,实现了假肢灵巧手的 19 主动自由度运动。

杨浩表示:“接下来,我们将进一步提升假肢灵巧手的性能和使用体验。比如,集成高性能冷却系统的新一代形状记忆合金将有效提高假肢手的运动效率;高精度触觉传感皮肤将赋予假肢手更精细的操作能力。”

目前,团队正与中国科大第一附属医院合作,希望在更多上肢截肢患者群体中开展试验,收集数据提升患者体验感。

未来,张世武憧憬假肢灵巧手能够在外观、力量、速度、灵活性上“比肩”人手,高效完成日常生活中的各种复杂手部任务,提高患者的生活质量,造福全球上千万上肢截肢患者。他还希望可以实现人形机器人的类人级别灵巧操作,帮助人形机器人走进千家万户。

相关论文信息:<https://doi.org/10.1038/s41467-025-56352-z>

全球首个磁控血液凝胶纤维机械人问世

本报讯 香港中文大学教授张立团队联合深圳大学副教授王奔、中国科学院深圳先进技术研究院研究员徐天添等科研人员,成功研发全球首个磁控血液凝胶纤维机械人,有效实现颅内肿瘤精准治疗。近日,相关成果发表于《自然-生物医学工程》。

长期以来,位于脑内部或邻近重要功能区的颅内肿瘤是临床治疗的难题。传统手术由于解剖路径复杂,往往伴随着不可逆转的神经损伤风险;放

射治疗可能导致正常脑细胞坏死;化疗受限于血脑屏障的低通透性,难以达到有效的药物浓度。如何实现无创、精准、高效的颅内肿瘤治疗,是医学领域面临的一项挑战。

针对上述难题,研究人员研发出一种基于患者自身血液的磁控血液凝胶纤维机械人。该机械人以患者血液中的纤维蛋白为原料,并以仿生凝胶化技术建构,与脑内组织结构高度匹配,有助于显著降低免疫排斥风险。研究人员在机械

人内部加入磁性颗粒,使其具有摆动、翻滚、爬行等多种仿生运动模式,可以在蛛网膜下腔等复杂脑区灵活移动。

研究人员摒弃传统的血管输送路径,突破性地选择脑脊液作为运输的“天然航道”,结合特设的多模态磁控运动策略,使机械人能够在脑部结构中精准导航,直达肿瘤病灶。到达靶点后,机械人在高强度交变磁场作用下,通过磁性引致机械断裂的机制,释放其携带的化疗药物,局部提升药物浓

度,增强治疗效果并减少副作用,为颅内深部及邻近的肿瘤提供了一种无创、精准、高效的治疗方案。

论文共同通讯作者徐天添表示,该研究为微型机械人在医学领域实现自动化治疗提供了一个新范例。未来,团队将继续提升生物材料与机械人的运动性能,扩大应用范围并积极推动临床转化。

(朱汉斌)

相关论文信息:<https://doi.org/10.1038/s41551-025-01382-z>