



技术前瞻

新一代机器人:云脑机器人

孙富春,刘华平,陶霖密

清华大学计算机科学与技术系;智能技术与系统国家重点实验室;
清华信息科学与技术国家实验室 北京100084

随着全球机器人产业的飞速增长,机器人技术在保障国家安全、推动国民经济转型、改善人民生活水平,以及引领科学技术发展等方面发挥着越来越重要的作用。制造模式、生活方式、军事作战形态的颠覆性变化,推动机器人技术迅猛发展,使之成为一种面向未来的战略性技术,已成为未来国与国之间竞争的焦点。2014年6月9日,在中国科学院第十七次院士大会、中国工程院第十二次院士大会上,习近平主席强调:“机器人革命”有望成为“第三次工业革命”的一个切入点和重要增长点,将影响全球制造业格局。2015年11月23日,世界机器人大会在北京召开,李源潮副主席参加了开幕式并致辞。这一系列举措,掀起了机器人研究与开发的热潮。

从未来10年乃至20年的发展角度看,机器人将越来越深入地融入社会,在更加动态和不确定的环境下,完成复杂和精细的操作任务。同时,我们也必须认识到,机器人无论如何发展,都只能是人类生活和工作的工具和帮手,辅助人类完成一些复杂、危险的工作。机器人将在人类的控制之下自主地执行任务,最终形成人和机器人协同工作的和谐环境。

目前人类生活的空间,是完全根据人类的认知能力和物理限制而建造的。未来人类建造或改造环境时,必须考虑人类和机器人之间的相互关系,使得未来人类生活和工作的环境适合机

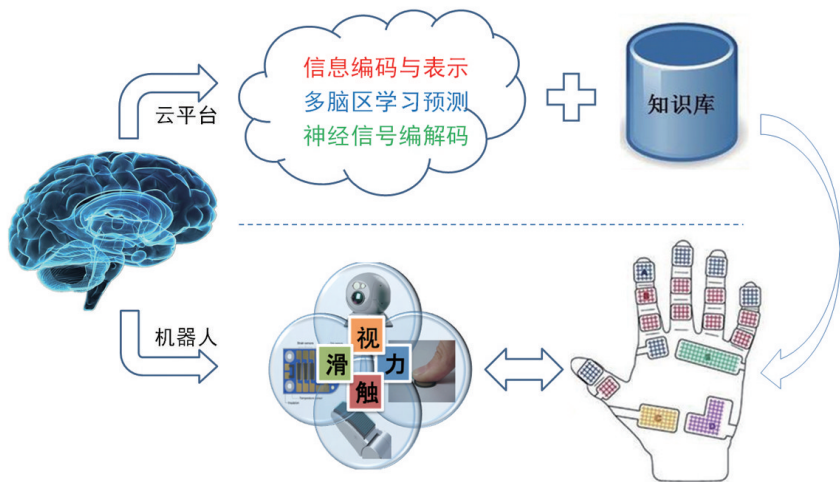


图1 云脑机器人工作原理示意图

器人辅助人类生活、人和机器人协同工作。因此,机器人一方面需要借助脑科学和类人认知计算,通过云计算、大数据处理技术提高自身的认知能力;另一方面也需要在环境建造或改造中提出和研制易于人类和机器人操作的接口、设备等,研究新的机器人操作系统和操控技术,提高机器人的精细与灵巧作业能力,最终实现机器人和环境、设备的相互适应和共同进化,创造人和机器人和谐、协同工作的新空间。

综上所述,新一代机器人要求借助脑科学和类人认知计算方法,通过云计算、大数据处理技术,增强机器人感知、环境理解和认知决策能力。通过对人和机器人认知和物理能力、需求的深入分析和理解,构造人和机器人的共生物理空间。使得机器人能够完成复杂、动态环境下的主动服务和自适应操作。

作为机器人领域的后发国家,我国在智能机器人领域相比于欧美日等先进国家还有相当大的差距。然而,大数据、云计算与物联网带来的变革,以及脑科学研究和类人认知计算技术的兴起,给机器人领域带来了新的跨越式发展机遇。目前,云脑机器人(参见图1)及人与机器人共生物理空间研究仍然是国际上的空白,它的研发、制造和应用是衡量一个国家科技创新、高端制造业水平和综合实力的重要标志,必将是国家安全的基石和形成支柱产业的战略引擎。抓住这个重大的历史机遇期,增强我国在机器人领域的自主创新能力,是我国机器人研究和赶上和超越国际水平的重要途径。

机器人系统中的类脑计算

人类大脑具有非常强大的信息处

理和认知功能,人类对自己的大脑及其功能的研究,历经数百年,取得了巨大的进步,但依然处于十分初级的阶段。人类对自己大脑运行原理的理解,依然十分有限。因此,类脑计算面临着非常巨大的挑战,寻找一个易于突破的方向,是当前类脑计算领域亟待解决的重大问题。

使机器人也具有同人类一样的脑-手功能,将人类从琐碎和危险环境的劳作中解放出来,一直是人类追求的梦想。随着人类对脑-手认知功能理解的加深,从脑-手生物系统认知机理的角度研究仿生机器人,已成为机器人发展的重要方向。而这些研究有赖于对人类脑-手感觉运动系统多源信息编码和神经协同机理的认知,以及如何将其转化为仿生机械手灵巧操作的理论方法。这里首当其冲需要解决的就是脑-手感知运动系统多源感知信息的编解码、神经协同运动机理。人手、臂的运动行为是运动皮层和感觉皮层等多脑区参与的神经信息协同表征与处理结果,而运动行为的学习则须将各种相关感知信息如视觉、触觉、温度觉等,编码后传入中枢神经系统,经过重复整合并存入长期记忆中。

目前对于脑-手运动机理的分析通常限定为初级运动皮层或运动前区与手具体运动参数的统计关联性,而对于如何同时将多种感官信息传输到人脑、如何表示、整合,并长期贮存用于指导运动技能的学习,则鲜有研究。揭示脑-手运动行为在神经信息中的动态表征机理,从细胞、回路和脑区三个层次上分别研究神经元活动与运动行为在时间与空间分布上的系统化关联性,对多脑区、高通量、时变、非线性的神经信号,进行高效、动态、联合的传感测试与解析,是当前脑科学和人工智能领域面临的共同挑战。

云脑机器人

云脑机器人的类人认知离不开神

经科学的发展。受大脑视觉系统的结构和功能特点启发建立的深度学习已在某些方面接近于大脑对于信息的处理能力。然而,深度学习仍然不完全具备大脑的认知能力,比如自主学习、对于多种模态的快速切换和自由融合、运动与感知的一体化等。因此,云脑机器人还需要从大脑借鉴更多的知识才能达到真正的类人认知。其次,为了实现类人认知,需要发展一种开放的、可扩展的、可重构的云脑计算体系结构,制造类脑神经网络等新型机器人的“大脑”。

目前,美国、欧洲等均启动了类脑芯片及新型体系结构等的研究,最引人瞩目的成果是IBM公司于2014年8月发布的类脑芯片TrueNorth,其中含有100万个可编程神经元、2.56亿个可编程突触,每秒可进行2560亿次突触运算。每消耗一焦耳的能量,可进行460亿突触运算。国际上开展类似研究的还有许多知名企业、研究机构和大学,包括英特尔、ARM、惠普、高通、斯坦福大学、曼彻斯特大学、海德堡大学等。我国的脑计划项目也在紧锣密鼓地进行。清华大学也于最近研制成功了类脑计算芯片天机1号。这方面的研究成果有望为云脑机器人的研发提供强有力的支持。

云脑机器人研究需要大数据技术的支撑。目前的大数据计算的前沿研究热点目前正拓展对信息系统、物理系统和人类社会之间的高度耦合机理和互动模型研究。如何在现有认知科学和信息科学的研究基础上,对跨时空大数据中数据、对象和事件的属性进行建模、分析和挖掘,揭示跨时空大数据的高度耦合机理和融合交互规律,解决将人类知识与数据驱动的大数据技术有效结合的关键问题,是大数据计算的研究趋势,亦是云脑机器人认知与决策的重要基础。在智能决策方面,随着人们对人类脑神经系统、感觉运动系统多源信息编码和神经协同机理的认知,如何

研究利用基于这些认知机理的智能控制理论与技术,并将其应用于机器人,增强机器人对不确定环境的适应能力和精细与灵巧操作能力,是云脑机器人智能控制研究的核心技术之一。目前,匹斯堡大学、布朗大学和浙江大学等单位已通过对猕猴和人的脑神经运动系统认知机理的揭示,研究新型的机器人操作理论方法,并进行了猕猴和人的典型抓取实验。作者领导的课题组开展了机械手高分辨率多模态陈列传感装置以及基于经验学习的机械手精细操作方法的研究,并将其应用于科学实验。

未来发展方向

尽管类脑计算和云计算目前已经取得显著进展,云脑机器人的研究依然面临巨大挑战。为了应对这些挑战,应该在以下方面开展深度研究:

1) 云脑机器人系统的体系结构

通过视觉、听觉、触觉等多模态感知信息完成对作业环境的进行认知并对操作目标进行精细与灵巧操作是云脑机器人必备的能力。拟突破该体系中网络与机器人、机器人与机器人之间的感知运算存储等资源的配置、角色分配、任务分工、协作方式以及人机情感交互,以及基于类人认知的机器人精细与灵巧操作等问题。研制认知专用加速芯片,实现高性能功耗比的复杂认知功能。研究支持多机器人协作的云端融合体系结构,根据任务复杂度、数据量、网络状况以及机器人的电源状况等自动选取优化的云端任务划分和机器人任务划分机制,降低总体成本、功耗,提高任务执行效率。突破云端融合的智能机器人编程方法、编译器和运行时系统,实现云脑机器人性能的整体跨越。研究超智机器人与智能家居环境和智能制造环境进行信息交互和操作控制的方法与体系结构。基于新型器件和新型类脑计算模型的研究,研究新一代认知加速芯片。



2) 云脑机器人的类人认知

机器人在感知外界事物时,需要从多个感官模态获取信息,对这些信息有效整理用于认知过程、指导后续行为,并可通过云计算和云存储延伸感知能力。为此,需要发展云脑机器人的类人认知基础理论和方法,解决多模态信息“如何表达、如何处理、如何使用”以及类人认知与现有信息处理系统如何高效融合等问题。

3) 云脑机器人的智能控制

云脑机器人需要高效处理来自网络空间、物理空间和人类社会空间的跨时空复杂信息。因此,如何在与环境交互和共同进化过程中实现自适应的决策与控制是云脑机器人必须具备的能力。为此,需要研究跨时空复杂环境下的智能控制理论、方法与系统。包括:(1)云脑控制的分层递阶结构;(2)云脑控制的认知机理;(3)面向云脑控制的人机交互;(3)云脑协调多任务规划与决策。(4)云脑机器人核心功能部件,包括多模态、高分辨率阵列传感装置、仿生肌肉纤维和记忆合金协同驱动装置以及关键传动与控制器件等。

4) 云脑机器人的大数据处理与分析

云脑机器人需要高效处理来自于网络空间、物理空间和人类社会空间的跨时空大数据。如何智能地从与环境交互的海量历史数据及实时数据中自适应学习与决策是云脑机器人必须具备的能力。为此,需要研究跨时空大数据环境下的智能信息处理理论、方法和

系统,包括:(1)跨时空大数据的统一表达以及数据、属性和语义的交互机制建模;(2)跨时空数据的变粒度结构挖掘及其高度耦合机理;(3)知识与数据驱动相结合的学习理论和高效算法;(4)开放式动态复杂环境下的隐含结构识别、异构推理与融合;(5)不确定环境下的高效智能决策与自适应学习;(6)支持云脑机器人数据计算的大数据分析处理系统架构、质量控制模型与高效算法,实现跨时空大数据并行处理机制及知识管理模式。

5) 应用示范

建立在云脑机器人基础之上的服务机器人在未来养老服务中应逐渐扮演起重要角色,利用多感觉整合与注意脑机制及其与人情感关系、人-机器人的友好交互、技能学习与智能决策等关键技术,提高机器人的认知能力,提升服务机器人的智能化程度,承担起养老服务,解放劳动力,带动整个服务产业新发展,解决国家重大社会问题。另一方面,云脑工业机器人在新工业时代大背景下,利用自主协同操控,面向复杂加工任务的自主制造,群组工业机器人的智能规划、决策,基于网络的人机共融操作等关键技术,进一步提高工业技术水平,同时结合服务机器人生产、制造,进行应用示范。

为了攻克云脑机器人上述关键技术,应该建立高等院校、企业和标准化组织协作的创新模式,为新技术的应用提供市场准入条件。在技术示范方面,

要充分结合企业的工程实施能力和产品化能力,通过技术转让等成果转化方式吸引相关企业参与项目实施。与相关行业管理部门积极沟通,以便于成果辐射整个生产行业,带动行业进步。在人才保障方面,加强对云脑机器人科技人才培养的政策支持,吸纳高素质人员进入机器人研发领域,建立高层次人才培养体系。此外,积极引进国外先进技术与经验,实现我国机器人技术与世界接轨。加强国际机器人标准体系研究,系统与装备国际化顶层设计,国际合作机制研究,以及国际发达国家机器人技术跟踪与发展态势分析。

云脑机器人是新一代机器人的发展趋势。通过云脑机器人的研究与开发,形成完备的机器人产-学-研-用创新体系,具体包括突破云脑机器人的体系结构、环境交互学习、认知行为与作用机理、灵巧操作等基础理论与核心技术,并研制大面积多模态、高分辨率阵列传感装置、类人认知计算芯片、仿生肌肉纤维和记忆合金协同驱动装置等新型仿生感知与执行器,开发云脑机器人关键传动与控制器件,完成原创性的云脑机器人实验样机平台研制,建立服务机器人和工业机器人应用示范。通过对云脑机器人的研发,不仅能够快速提升我国在机器人领域的领导地位,还能有力地促进云计算、类脑计算与认知计算的协同发展。

(编辑 祝叶华)