

综 述

智能机器人及其发展^{*}孟庆春^{1,2}, 齐 勇³, 张淑军¹, 杜春侠¹, 殷 波³, 高 云¹

(1. 中国海洋大学计算机科学系, 山东 青岛 266071; 2. 清华大学智能技术与系统国家重点实验室, 北京 100084; 3. 中国海洋大学电子工程系, 山东 青岛 266071)

摘 要: 智能机器人是一个国家高科技发展水平的重要标志之一, 具有广阔的应用前景。本文介绍了机器人的定义和发展阶段, 阐述了智能机器人研究领域的关键技术, 总结了国内外各类机器人的发展现状并给出相应实例, 最后分析并展望了智能机器人今后的发展和研究趋势。

关键词: 智能机器人; 信息融合; 智能控制; 智能人机接口

中图法分类号: TP242.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-5174(2004)05-831-08

机器人技术的发展是一个国家高科技水平和工业自动化程度的重要标志和体现^[1]。机器人在当前生产生活中的应用越来越广泛, 正在替代人发挥着日益重要的作用。机器人技术是综合了计算机、控制论、机构学、信息和传感技术、人工智能、仿生学等多学科而形成的高新技术, 集成了多学科的发展成果, 代表高技术的发展前沿, 是当前科技研究的热点方向。

随着计算机、微电子、信息技术的快速进步, 机器人技术的开发速度越来越快, 智能度越来越高, 应用范围也得到了极大的扩展。在海洋开发、宇宙探测、工农业生产、军事、社会服务、娱乐等各个领域, 机器人都有着广阔的发展空间与应用前景。机器人正朝着智能化和多样化等方向发展^[2]。同时, 机器人涉及到的技术也不断扩展, 如多传感器信息融合、路径规划、机器人视觉、智能人机接口等, 产生了一系列研究课题。

目前, 国内外对机器人的研究不断深入, 已经开发出各式各样的具有感知、决策、行动和交互能力的特种机器人和各种智能机器人, 推出了各种样机, 如移动机器人、微型机器人、水下机器人、军用机器人、服务娱乐机器人、仿人机器人等。对不同任务和特殊环境的适应性, 是智能机器人与一般自动化装备的重要区别。智能机器人从外观上已远远脱离了最初的工业机器人所具有的形状和局限, 更加符合各种不同应用环境的特殊要求, 其功能和智能程度大大增强, 从而为机器人技术开辟出更加广阔的发展空间。本文对智能机器人的关键技术及分类进行了综述和研究。

1 机器人的定义与发展简介

自机器人问世以来, 人们就很难对机器人下一个准确的定义, 欧美国家认为机器人应该是“由计算机控制的通过编程具有可以变更的多功能的自动机械”; 日本学者认为“机器人就是任何高级的自动机械”, 我国科学家对机器人的定义是: “机器人是1种自动化的机器, 所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能能力, 如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力, 是1种具有高度灵活性的自动化机器。”目前国际上对机器人的概念已经渐趋一致, 联合国标准化组织采纳了美国机器人协会(RIA: Robot Institute of America)于1979年给机器人下的定义: “1种可编程和多功能的, 用来搬运材料、零件、工具的操作机; 或是为了执行不同的任务而具有可改变和可编程动作的专门系统。”概括说来, 机器人是靠自身动力和控制能力来实现各种功能的一种机器。

到目前为止, 机器人技术的发展过程大致可以分为以下3个阶段^[3]:

第一代可为编程示教再现型机器人, 其特征是机器人能够按照事先教给它们的程序进行重复工作。1959年美国人英格伯格和德沃尔制造的世界第一台工业机器人就属于示教再现型, 即人手把着机械手, 把应当完成的任务做一遍, 或者人用示教控制盒发出指令, 让机器人的机械手臂运动, 一步步完成它应当完成的各个动作;

* 基金项目: 国家自然科学基金课题(60374031); 山东省科技攻关课题(031080124)资助

收稿日期: 2004-08-17; 修订日期: 2004-08-28

作者简介: 孟庆春(1958-), 男, 教授, 博士, E-mail: mengqc@ouc.edu.cn

第二代机器人(20 世纪 70 年代)是具有一定的感觉功能和自适应能力的离线编程机器人,其特征是可以根据作业对象的状况改变作业内容,即所谓的“知觉判断机器人”;

第三代机器人(20 世纪 80 年代中期以后)是智能机器人,这种机器人带有多种传感器,能够将多种传感

器得到的信息进行融合,能够有效的适应变化的环境,具有很强的自适应能力、学习能力和自治功能。

各阶段代表性的机器人如图 1 所示。智能机器人的研究在计算机技术、机器人技术和人工智能理论的推动下发展迅速,逐渐成为机器人技术的研究热点和主导方向。本文以下主要针对智能机器人进行论述。

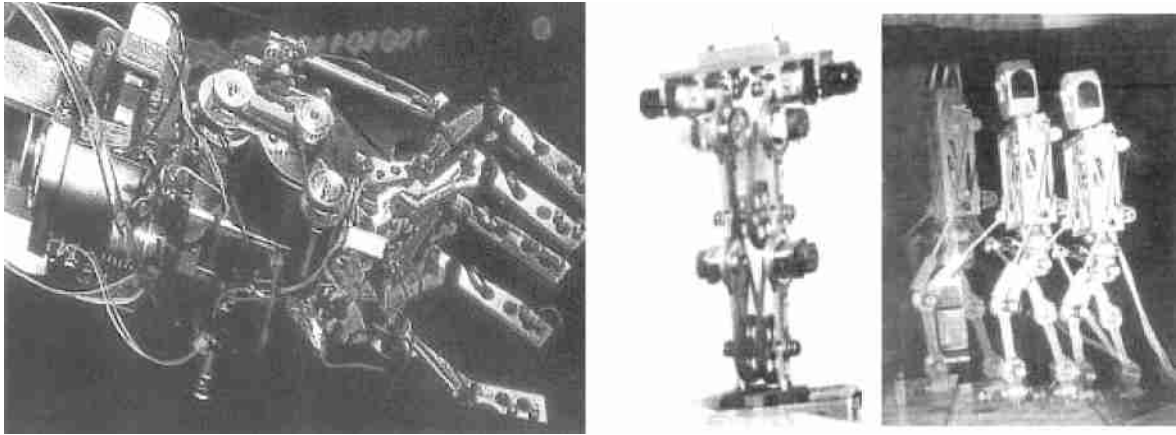


图 1 第一代、第二代、第三代机器人图例

Fig. 1 Robots of the first, second and third generations

2 机器人关键技术

随着社会发展的需要和机器人应用领域的扩大,人们对智能机器人的要求也越来越高。智能机器人所处的环境往往是未知的、难以预测的,在研究这类机器人的过程中,主要涉及到以下关键技术:

2.1 多传感器信息融合 多传感器信息融合技术是近年来十分热门的研究课题,它与控制理论、信号处理、人工智能、概率和统计相结合,为机器人在各种复杂、动态、不确定和未知的环境中执行任务提供了 1 种技术解决途径^[4]。机器人所用的传感器有很多种,根据不同用途分为内部测量传感器和外部测量传感器两大类。内部测量传感器用来检测机器人组成部件的内部状态,包括:特定位置、角度传感器;任意位置、角度传感器;速度、角度传感器;加速度传感器;倾斜角传感器;方位角传感器等。外部传感器包括:视觉(测量、认识传感器)、触觉(接触、压觉、滑动觉传感器)、力觉(力、力矩传感器)、接近觉(接近觉、距离传感器)以及角度传感器(倾斜、方向、姿式传感器)。

多传感器信息融合就是指综合来自多个传感器的感知数据,以产生更可靠、更准确或更全面的信息。经过融合的多传感器系统能够更加完善、精确地反映检测对象的特性,消除信息的不确定性,提高信息的可靠性。融合后的多传感器信息具有以下特性:冗余性、互补性、实时性和低成本性^[4]。目前多传感器信息融合

方法主要有贝叶斯估计、Dempster-Shafer 理论、卡尔曼滤波、神经网络、小波变换等^[5]。

多传感器信息融合技术是 1 个十分活跃的研究领域,主要研究方向有:

2.1.1 多层次传感器融合 由于单个传感器具有不确定性、观测失误和不完整性的弱点,因此单层数据融合限制了系统的能力和鲁棒性。对于要求高鲁棒性和灵活性的先进系统,可以采用多层次传感器融合的方法。低层次融合方法可以融合多传感器数据;中间层次融合方法可以融合数据和特征,得到融合的特征或决策;高层次融合方法可以融合特征和决策,得到最终的决策。

2.1.2 微传感器和智能传感器 传感器的性能、价格和可靠性是衡量传感器优劣与否的重要标志,然而许多性能优良的传感器由于体积大而限制了应用市场。微电子技术的迅速发展使小型和微型传感器的制造成为可能。智能传感器将主处理、硬件和软件集成在一起。如 Par Scientific 公司研制的 1000 系列数字式石英智能传感器,日本日立研究所研制的可以识别 4 种气体的嗅觉传感器,美国 Honeywell 公司研制的 DSTJ23000 智能压差压力传感器等,都具备了一定的智能。

2.1.3 自适应多传感器融合 在实际世界中,很难得到环境的精确信息,也无法确保传感器始终能够正常工作。因此,对于各种不确定情况,鲁棒融合算法十分必要。现已研究出一些自适应多传感器融合算法来

处理由于传感器的不完善带来的不确定性。如 Hong 通过革新技术提出 1 种扩展的联合方法,能够估计单个测量序列滤波的最优卡尔曼增益^[6]。Pacini 和 Kosko 也研究出 1 种可以在轻微环境噪声下应用的自适应目标跟踪模糊系统,它在处理过程中结合了卡尔曼滤波算法^[7]。

2.2 导航与定位 在机器人系统中,自主导航是一项核心技术,是机器人研究领域的重点和难点问题。导航的基本任务有 3 点^[8]:(1) 基于环境理解的全局定位:通过环境中景物的理解,识别人为路标或具体的实物,以完成对机器人的定位,为路径规划提供素材;(2) 目标识别和障碍物检测:实时对障碍物或特定目标进行检测和识别,提高控制系统的稳定性;(3) 安全保护:能对机器人工作环境中出现的障碍和移动物体作出分析并避免对机器人造成的损伤。

机器人有多种导航方式,根据环境信息的完整程度、导航指示信号类型等因素的不同,可以分为基于地图的导航、基于创建地图的导航和无地图的导航^[9]3 类。根据导航采用的硬件的不同,可将导航系统分为视觉导航和非视觉传感器组合导航^[8]。视觉导航是利用摄像头进行环境探测和辨识,以获取场景中绝大部分信息。目前视觉导航信息处理的内容主要包括:视觉信息的压缩和滤波、路面检测和障碍物检测、环境特定标志的识别、三维信息感知与处理。非视觉传感器导航是指采用多种传感器共同工作,如探针式、电容式、电感式、力学传感器、雷达传感器、光电传感器等,用来探测环境,对机器人的位置、姿态、速度和系统内部状态等进行监控,感知机器人所处工作环境的静态和动态信息,使得机器人相应的工作顺序和操作流程能自然地适应工作环境的变化,有效地获取内外部信息。

在自主移动机器人导航中,无论是局部实时避障还是全局规划,都需要精确知道机器人或障碍物的当前状态及位置,以完成导航、避障及路径规划等任务,这就是机器人的定位问题。比较成熟的定位系统可分为被动式传感器系统和主动式传感器系统^[8]。被动式传感器系统通过码盘、加速度传感器、陀螺仪、多普勒速度传感器等感知机器人自身运动状态,经过累积计算得到定位信息。主动式传感器系统通过包括超声传感器、红外传感器、激光测距仪以及视频摄像机等主动式传感器感知机器人外部环境或人为设置的路标,与系统预先设定的模型进行匹配,从而得到当前机器人与环境或路标的相对位置,获得定位信息。

2.3 路径规划 路径规划技术是机器人研究领域的 1 个重要分支。最优路径规划就是依据某个或某些优化准则(如工作代价最小、行走路线最短、行走时间最短等),在机器人工作空间中找到 1 条从起始状态到目

标状态、可以避开障碍物的最优路径。

路径规划方法大致可以分为传统方法和智能方法 2 种。传统路径规划方法主要有以下几种:自由空间法、图搜索法、栅格解耦法、人工势场法。大部分机器人路径规划中的全局规划都是基于上述几种方法进行的,但这些方法在路径搜索效率及路径优化方面有待于进一步改善。人工势场法是传统算法中较成熟且高效的规划方法,它通过环境势场模型进行路径规划,但是没有考察路径是否最优^[10]。

智能路径规划方法是将遗传算法、模糊逻辑以及神经网络等人工智能方法应用到路径规划中,来提高机器人路径规划的避障精度,加快规划速度,满足实际应用的需要。其中应用较多的算法主要有模糊方法、神经网络、遗传算法、Q 学习及混合算法等,这些方法在障碍物环境已知或未知情况下均已取得一定的研究成果^[11]。

2.4 机器人视觉 视觉系统是自主机器人的重要组成部分,一般由摄像机、图像采集卡和计算机组成。机器人视觉系统的工作包括图像的获取、图像的处理和分析、输出和显示,核心任务是特征提取、图像分割和图像辨识。而如何精确高效的处理视觉信息是视觉系统的关键问题。目前视觉信息处理逐步细化,包括视觉信息的压缩和滤波、环境和障碍物检测、特定环境标志的识别、三维信息感知与处理等。其中环境和障碍物检测是视觉信息处理中最重要、也是最困难的过程。

边沿抽取是视觉信息处理中常用的 1 种方法。对于一般的图像边沿抽取,如采用局部数据的梯度法和二阶微分法^[12]等,对于需要在运动中处理图像的移动机器人而言,难以满足实时性的要求。为此人们提出 1 种基于计算智能的图像边沿抽取方法,如基于神经网络的方法、利用模糊推理规则的方法,特别是 Bezdek J. C 教授近期全面的论述了利用模糊逻辑推理进行图像边沿抽取的意义。这种方法具体到视觉导航,就是将机器人在室外运动时所需要的道路知识,如公路白线和道路边沿信息等,集成到模糊规则库中来提高道路识别效率和鲁棒性。还有人提出将遗传算法与模糊逻辑相结合。

机器人视觉是其智能化最重要的标志之一,对机器人智能及控制都具有非常重要的意义。目前国内外都在大力研究,并且已经有一些系统投入使用。

2.5 智能控制 随着机器人技术的发展,对于无法精确解析建模的物理对象以及信息不足的病态过程,传统控制理论暴露出缺点,近年来许多学者提出了各种不同的机器人智能控制系统。机器人的智能控制方法有模糊控制、神经网络控制、智能控制技术的融合(模糊控制和变结构控制的融合;神经网络和变结构控

制的融合;模糊控制和神经网络控制的融合;智能融合技术还包括基于遗传算法的模糊控制方法)等。

近几年,机器人智能控制在理论和应用方面都有较大的进展。在模糊控制方面,J·J·Buckley 等人论证了模糊系统的逼近特性,E·H·Mamdan 首次将模糊理论用于一台实际机器人^[13]。模糊系统在机器人的建模、控制、对柔性臂的控制、模糊补偿控制以及移动机器人路径规划各个领域都得到了广泛的应用。在机器人神经网络控制方面,CMCA (Cere-bella Model Controller Articulation)是应用较早的一种控制方法,其最大特点是实时性强,尤其适用于多自由度操作臂的控制。

智能控制方法提高了机器人的速度及精度,但是也有其自身的局限性,例如机器人模糊控制中的规则库如果很庞大,推理过程的时间就会过长;如果规则库很简单,控制的精确性又会受到限制;无论是模糊控制还是变结构控制,抖振现象都会存在,这将给控制带来严重的影响;神经网络的隐层数量和隐层内神经元数的合理确定仍是目前神经网络在控制方面所遇到的问题,另外神经网络易陷于局部极小值等问题,都是智能控制设计中要解决的问题。

2.6 人机接口技术 智能机器人的研究目标并不是完全取代人,复杂的智能机器人系统仅仅依靠计算机来控制目前是有一定困难的,即使可以做到,也由于缺乏对环境的适应能力而并不实用。智能机器人系统还不能完全排斥人的作用,而是需要借助人机协调来实现系统控制。因此,设计良好的人机接口就成为智能机器人研究的重点问题之一。

人机接口技术是研究如何使人方便自然地与计算机交流。为了实现这一目标,除了最基本的要求机器人控制器有1个友好的、灵活方便的人机界面之外,还要求计算机能够看懂文字、听懂语言、说话表达,甚至能够进行不同语言之间的翻译,而这些功能的实现又依赖于知识表示方法的研究。因此,研究人机接口技术既有巨大的应用价值,又有基础理论意义。目前,人机接口技术已经取得了显著成果,文字识别、语音合成与识别、图像识别与处理、机器翻译等技术已经开始实用化^[14]。另外,人机接口装置和交互技术、监控技术、远程操作技术、通讯技术等也是人机接口技术的重要组成部分,其中远程操作技术是一个重要的研究方向^[15]。

3 机器人分类及研究现状

从20世纪80年代中期开始,机器人已从工厂的结构化环境进入人的日常生活环境——医院、办公室、

家庭、建筑工地和其它杂乱及不可控环境,成为不仅能自主完成工作,而且能与人共同协作完成任务或在人的指导下完成任务的智能机器人。这些机器人可以从不同的角度进行分类,如按照工作场所的不同,可以分为管道、水下、空中、地面机器人等;按照用途的不同,可分为家用、医疗、军事机器人等。

3.1 管道机器人 管道机器人是1种可沿细小管道内部或外部自动行走、携带一种或多种传感器及操作机械,在工作人员的遥控操作或计算机自动控制下,进行一系列管道作业的机、电、仪一体化系统^[16-17],属于特种机器人的研究范畴。随着特种机器人技术的发展及管内检测移动机器人技术的成熟,它在工业中的应用也越来越广泛。其主要功能有:检测管道使用过程中的破裂、腐蚀和焊缝质量情况,在恶劣环境下承担管道的清扫、喷涂、焊接、内部抛光等维护工作,对地下管道进行修复。

到目前为止研制开发出的管道机器人以轮式和履带式为主^[16]。东京工业大学开发出基于螺旋轮式运动原理的微型管道机器人。该机器人的本体由几个单元通过弹簧联接而成,每个单元体上均匀分布有3只支撑臂,用螺旋弹簧将支撑臂上的小轮紧压在管道内壁上,产生预压力。小轮的轴线相对单元体的轴线倾斜了一个角度,通过软轴将扭矩作用在单元体上使微型机器人移动。西门子公司 Werner Neubauer 等人研制的微管道机器人有4,6,8支脚3种类型,可在各种类型的管里移动,其基本原理是利用腿推压管壁来支撑个体,多腿可以方便地在各种形状的弯管内移动^[18]。

目前国内外管道机器人的研究成果已经很多,可是在微小管道、特殊管道(如变径管道、带有U型管的管道)进行检测、维修方面还刚起步。由于该类管道在各个领域的广泛应用,研发该类机器人极具吸引力。

3.2 水下机器人 21世纪是人类开发海洋的新世纪,进行海洋科学研究、海上石油开发、海底矿藏勘探、海底打捞救生等都需要开发深海载人潜器和水下机器人技术。因此发展水下机器人意义重大。水下机器人的种类很多,如载人潜水器、遥控有缆水下机器人(ROV)、自治无缆水下机器人(AUV)等。ROV是最早得到开发和应用的潜水器,而AUV由于自身的优点,代表了未来水下机器人的研究方向^[19]。

AUV 根据各种传感器的测量信号,由机器人载体上携带的智能决策系统自治的指挥、完成各种机动航行、动力定位、探测、信息收集、作业等任务。AUV 的能量全部来自于其自身携带的可充电电池、燃烧电池、闭式柴油机等可携带能源^[20]。AUV 具有安全、结构简单、重量轻、尺寸小、造价低等优点,同时与 ROV 相

比, AUV 的活动范围大, 潜水深度深, 不怕电缆缠绕, 可进入复杂结构, 不需要庞大的水面支持, 占用甲板面积小, 成本低, 主要用于海底地形地貌勘察、海洋资源以及地质调查、海洋环境和水文参数测量、生物考察等^[21]。AUV 的控制涉及到决策与路径规划、避障、故障诊断、导航、通讯等关键技术; 其导航技术主要有: 惯性导航; 全球导航定位系统; 多普勒导航等方法^[22]。



图 2 Phoenix 自治水下机器人
Fig. 2 Phoenix AUV

目前国外像美国、俄罗斯、日本等在水下机器人研究方面都取得了一定的成果。美国海军研究生院的 Phoenix AUV (如图 2 所示) 和性能更优越的 Aries AUV, 主要用于研究智能控制、规划与导航、目标识别等技术。日本以东京大学生产技术研究所为主, 开发出 Twin-Burger^{1&2}、PTEROA150&250 等多个型号的观测型 AUV, 主要用于观察海底电缆的铺设和维护情况。近年来又研制出具有很强的水下探测能力的“淡探”和“Tri-Dog1”等小型水下智能机器人。国内沈阳自动化研究所和哈尔滨工程大学对水下机器人的研究比较突出。

3.3 空中机器人 空中机器人在通信、气象、灾害监测、农业、地质、交通、广播电视等方面都有广泛的应用, 目前其技术已趋成熟, 性能日臻完善, 逐步向小型化、智能化、隐身化方向发展, 同时与空中机器人相关的雷达、探测、测控、传输、材料等方面也正处于飞速发展的阶段。

空中机器人主要分为仿昆飞行机器人、LTA 飞行机器人、微型飞行器等。仿昆飞行机器人是一类基于仿生学原理开发的空中机器人, 具有小尺寸、便于携带、行动灵活和隐蔽性好等特点, 其飞行性能和物理特性是: 雷诺数极小, 表面积与体积之比很大, 总质量严格受限。从结构特点、飞行力学、负载特性、能量供给和敏捷性等方面, 仿昆飞行机器人与蜻蜓、蜜蜂或蜂鸟有些相似, 与传统的飞机有本质区别。最近几年, 在昆

虫空气动力学和电子机械技术快速发展的基础上, 各国纷纷开始研究拍翅飞行的仿昆飞行机器人, 使仿昆飞行机器人成为机器人研究最为活跃的前沿领域。美国和日本在仿昆飞行机器人的研究开发处于世界领先地位。美国加州大学伯克利分校于 1998 年开始实行微飞行机器昆虫(MFI)的研究计划。该计划的目的是模拟苍蝇的独特飞行性能, 设计出一种能够独立自主操纵的微飞行机器^[23]。目前国外研究的仿昆飞行机器人仍停留在实验室研究阶段。

LTA(lighter than air, 轻于空气)飞行机器人是一种利用轻质气体在空气中获得升力的飞行器^[24]。由于要提供较大的浮力, 一般体积非常庞大, 有的甚至比足球场还大。相对而言, 通常把外形尺寸在 5m 以下的 LTA 飞行机器人称为微小型 LTA 飞行机器人, 具有留空时间长、节能、飞行成本低、安全系数高、飞行控制灵活等独有的飞行特点, 可广泛用于森林防火、交通管制、广播电视、广告宣传、通讯中继等方面, 目前在国外已成为一个研究热点。

3.4 军事机器人 军事机器人是 1 种用于军事领域的具有某种仿人功能的自动机, 其作用有 3 个方面: 一是直接执行战斗任务; 二是侦察和观察; 三是工程保障。军用机器人广泛的发展前景, 引起了世界军事家们的高度重视, 许多国家为此都制定了军用机器人的发展计划。军用机器人有侦察机器人、爆炸物处理机器人、步兵支援机器人及无人机等。法国已经开发出了几种较为先进的军用地面机器人, 如 SAEMC800 爆炸物探测机器人、RM35 爆炸物处理机器人(如图 3)、TSR200 机器人、Minirob 微型爆炸物处理机器人(可在机场及舰船的狭窄过道中使用)等。



图 3 RM35 爆炸物处理机器人
Fig. 3 Explosives eliminating robot RM35

目前智能军用机器人正向着拟人化、仿生化、小型化、多样化方向发展。随着电脑技术、光电子技术、通讯

技术以及自动控制技术的不断完善和进步,军事机器人将朝着更高的层次发展。

3.5 服务/娱乐机器人 服务机器人是 1 种半自主或全自主工作、为人类提供服务的机器人,目前主要有医用机器人、家用机器人、娱乐机器人、导游机器人等。其中医用机器人具有良好的应用前景,能够完成或辅助完成常规医疗方法和设备难以完成的复杂诊断和手术,已在各类外科手术和无损伤检测等方面引起重大变革,大大提高了医疗水平。医用机器人可细分为手术机器人、诊断机器人、护理机器人、康复机器人等,相关医用技术和设备的研究包括手术规划与导航、高精度和高可靠性的定位操作,医用机器人机构、灵巧微操作手(机械手)、人机交互导航控制等关键技术。因此,医用机器人的研究开发,不仅对常规医疗带来一系列技术变革,对临床、家庭护理及康复工程的发展产生深远影响,还将推动智能机器人、计算机、虚拟现实、微机械电子等学科的发展。

娱乐机器人以供人观赏、娱乐为目的,具有机器人的外部特征,可以像人或像某种动物等,同时具有机器人的功能,可以行走或完成动作,有语言能力,会唱歌,有一定的感知能力。如机器人歌手、舞蹈机器人、乐队机器人、玩具机器人等。

足球机器人是目前研究机器人技术及多智能体技术的重要平台,是人工智能领域最具挑战性的课题之一。每年国际上都有各种类型的足球机器人比赛,比较有影响的主要有国际机器人足球联合会(FIRA)和国际人工智能协会组织的 RoboCup。足球机器人是一项集高科技和娱乐性于一体的竞技项目,涉及机器人学、机电一体化、通讯与计算机技术、图像处理、传感器数据融合、决策与对策、模糊神经网络、人工生命与智能控制等学科的内容,是最受关注的一类娱乐机器人(见图 4)。



图 4 足球机器人比赛平台

Fig.4 Soccer robot platform

导盲机器人^[25]是 1 种得到广泛应用的服务机器人。其外形如一辆童车,通过有线控制带领盲人行走,当遇到障碍物或有危险情况时,向盲人发出警告并自动停下来。导盲机器人还装有街道地图移动数据库,由计算机对地图进行图像处理。

中国海洋大学智能技术与系统实验室根据当前机器人研究热点方向及社会发展需要,研制出导游机器人“海福利”,实现了语音解说及内容的实时在线更新;研制了护士助手机器人,用于危险性较大的传染病房,如 SARS、结核、肝炎病房等,可以识别病房和床位,运送医疗器材和设备,为护士和病人提示工作,在医院内部送邮件及包裹。在此基础上,又开发出集实用性、服务性、娱乐性于一身的新型智能语音导医机器人“海乐福”(见图 5),功能强大,用户操作简单,成为一种全新的导医系统。可推广应用于养老院、福利院、商场导购等多种服务领域。实验室还准备开发多语种导游机器人,可以同时用多种语言解说沿途风景,回答游客问题。



图 5 智能语音导医机器人海乐福

Fig.5 Intelligent speech hospital guiding robot Hi-love

3.6 仿人机器人 仿人机器人是 1 种智能机器人,它的形状与人类类似,具有移动功能、操作功能、感知功能、记忆和自治能力,能够实现人机交互。具体表现在:在结构化和非结构化的外部环境中稳定移动,对外界物体进行操作,感知环境,产生自治行为。仿人机器人是当前智能机器人研究领域中最最新的研究方向之一^[26],已经引起了国内外的广泛关注。

国际上对仿人机器人的研究主要集中在日本和美国,各有不同的侧重点。一些研究小组将注意力集中在制造具有人类形状的、能够完成类人动作且具有商业意义的仿人机器人上,本田仿人机器人^[27-28]是其中的代表。本田开发出世界上最先进的仿人机器人 ASI-MO(如图 6),高四英尺,能够前进、倒退、顺畅转身、爬楼梯,其主要的设计目的是将来可协助有需要的人。从系统实现的角度看,本田机器人代表了当前仿人机器人研制的最高水平。为了建立通用的柔性灵巧自治机器人的原型并在此基础上研究人类的认知过程以及人类智能的本质,麻省理工学院布鲁克斯领导的研究小组研制出了名为 COG 的仿人机器人^[29],COG 共有 21 个自由度,安装了视觉、听觉、肌肉运动觉和触觉传

感器,成功地实现了 3 种随意运动和 2 种不随意运动,能够按照外界突然刺激的方向转动头部并作出必要的反应,用手臂指向视觉目标。

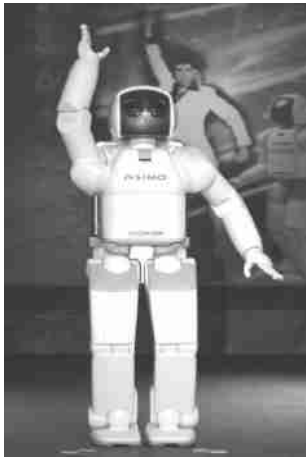


图 6 本田公司生产的仿人机器人 ASIMO
Fig. 6 ASIMO

国内的研制工作起步较晚,1985 年以来,相继有几所高校进行了这方面的研究并取得了一定的成果,哈尔滨工业大学和国防科技大学分别成功研制出双足步行机器人^[28],能完成静态、动态步行和一些简单的仿人动作。

3.7 微型机器人 微型/微操作机器人是正在兴起的机器人新领域,以纳米技术为基础,涉及微机械及其基础材料、微电子、微驱动与控制技术、微测量技术、微传感器、微能源、微系统设计等。微操作机器人是指机器人的运动位移在几微米和几百微米的范围内,其分辨率、定位精度和重复定位精度在亚微米至纳米级的范围内。

将微定位技术中的弹性平板和柔性铰链等应用到机器人的传动机构,再加上机器人控制技术、传感技术和机器人视觉组成微驱动和微操作机器人系统。微型机器人技术在生物工程、医学工程、微型机电系统、光学、超精密加工及测量(如:扫描隧道显微镜)等方面具有广阔的应用前景。20 世纪 80 年代末,各国掀起了对微操作研究的高潮,当前的研究重点主要集中在微操作的机构、驱动和显微视觉控制上。1995 年日本 AIST 机器人机械技术研究室开发出了双指微操作手^[30]。我国是在 20 世纪 90 年代开始研制高精度微动机器人的,1993 年广东工学院杨宜民教授等首先研制出了仿生直线驱动器,用于微进给机械加工^[31]。哈尔滨工业大学机器人研究所在国内首次研制出运动精度在纳米级的六维并联结构的微操作机器人,可用于光纤调整、细胞操作,具有极大的产业化价值。但总体来说,我国在微型机器人领域的研究仍处于起步阶段。

4 总结与展望

机器人是自动化领域的主题之一,人们几十年来对机器人的开发和研究,使机器人技术取得了巨大的进步。随着人工智能、智能控制和计算机技术的发展,机器人的应用领域不断扩大,性能不断提高,在当前的生产、生活、科研当中发挥着日益重要的作用。

目前机器人的研究正处于第 3 代智能机器人阶段,尽管国内外对此的研究已经取得了许多成果,但其智能化水平仍然不尽人意。围绕未来的智能机器人,本文提出如下几个有待发展的技术方向:

- (1) 机器人网络化:利用通信网络技术将各种机器人连接到计算机网络上,并通过网络对机器人进行有效的控制。网络化技术包括网络遥控操作控制技术、众多信息组的压缩与扩展方法及传输技术等;
- (2) 智能控制中的软计算方法:与传统的计算方法相比,以模糊逻辑、基于概率论的推理、神经网络、遗传算法和混沌为代表的软计算技术具有更高的鲁棒性、易用性及计算的低耗费性等优点,应用到机器人技术中,可以提高其问题求解速度,较好地处理多变量、非线性系统的问题;
- (3) 机器学习:各种机器学习算法的出现推动了人工智能的发展,强化学习、蚁群算法、免疫算法等可以用到机器人系统中,使其具有类似人的学习能力,以适应日益复杂的、不确定和非结构化的环境;
- (4) 智能人机接口:人机交互的需求越来越向简单化、多样化、智能化、人性化方向发展,因此需要研究并设计各种智能人机接口如多语种语音、自然语言理解、图像、手写字识别等,以更好地适应不同的用户和不同的应用任务,提高人与机器人交互的和谐性;
- (5) 多机器人协调作业:随着人工智能方法、机器人技术以及多智能体系统(Multi Agent System; MAS)等研究的深入,如何组织和控制多个机器人来协作完成单机器人无法完成的复杂任务,在复杂未知环境下实现实时推理反应以及交互的群体决策和操作,已经成为机器人研究领域的新课题,具有重要的理论和现实意义。

参考文献:

[1] 金周英.关于我国智能机器人发展的几点思考 [J]. 机器人技术与应用, 2001, (4): 5-7.
[2] Thang N Nguyen, Harry E Stephanou. Intelligent Robot Prehension [M]. USA: Kluwer Academic Publishers, 1993.
[3] <http://www.fjinfo.gov.cn/kepu/kjsh/jqr-dansheng.htm>.
[4] 孙 华, 陈俊风, 吴 林.多传感器信息融合技术及其在机器人中的应用 [J]. 传感器技术, 2003, 22(9): 1-4.
[5] Luo R C, Lin M H, Scherp R S. Dynamic multi-sensor data fusion

- system for intelligent robots [J]. IEEE Journal of Robotics and Automations, 1988, 4(4): 386-396.
- [6] Reynolds R G. Robust estimation of covariance matrices [J]. IEEE Trans Automat Control, 1990, 35(9): 1047-1051.
- [7] Pacini P J, Kosko B. Adaptive fuzzy systems for target tracking [J]. Intelligent Systems Engineering, 1992, 1(1): 3-21.
- [8] 陆新华, 张桂林. 室内服务机器人导航方法研究 [J]. 机器人, 2003, 25(1): 80-87.
- [9] Desouza G N, Kak A C. Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions, 2002, 24(2): 237-267.
- [10] 庄晓东, 孟庆春, 高云, 等. 复杂环境中基于人工势场优化算法的最优路径规划 [J]. 机器人, 2003, 25(6): 531-535.
- [11] Chaochang Chiu. Learning Path Planning Using Genetic Algorithm Approach [C]. Proceedings of the HCI International '99 on Human-Computer Interaction, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1999, 8: 71-75.
- [12] Jain A K. Fundamental of Digital Image Processing [M]. England: Prentice Hall, 1996.
- [13] 王灏, 毛宗源. 机器人的智能控制方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [14] Li Tsai-Yen, Hsu Shu-Wei. An Intelligent 3D User Interface Adapting to User Control Behaviors [C]. Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interface, USA: ACM Press, 2004. 1, 184-190.
- [15] Nobuto Matsuhira, Hiroyuki Bamba, Makoto Asakura. The development of a general master arm for tele-operation considering its role as a man-machine interface [J]. Advanced Robotics, 1994, 8(4): 443-457.
- [16] 甘小明, 徐滨士, 董世运, 等. 管道机器人的发展现状 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (6): 5-10.
- [17] Kawaguchi Y, Yoshida I, Kumatani H, *et al.* Development of an in-pipe inspection robot for iron pipes [J]. Journal of Robotics Society of Japan, 1996, 14(1): 137-143.
- [18] Roman H T, Pellegrino B A, Sigrist W R. Pipe crawling inspection robots: an overview [J]. IEEE Transaction on Energy Conversion, 1993, 8: 576-583.
- [19] Georgios A. Demetriou, Kimon P. Valavanis. A Hybrid Control Architecture for an Autonomous Underwater Vehicle [D]. Lafayette: University of Louisiana, 1998.
- [20] 桑恩方, 庞永杰, 卞红雨. 水下机器人技术 [J]. 机器人技术与应用, 2003, (3): 8-13.
- [21] 张禹, 邢志伟, 黄俊峰, 等. 远程自治水下机器人三维实时避障方法研究 [J]. 机器人, 2003, 25(6): 481-485.
- [22] 燕奎臣, 李一平, 袁学庆. 远程自治水下机器人研究 [J]. 机器人, 2002, 24(4): 299-303.
- [23] Fearing R S, Chiang K H, Dickinson M H, *et al.* Wing Transmission for a Micro-Mechanical Flying Insect [C]. USA: San Francisco, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000. 4: 509-516.
- [24] Fumiya Iida, Dimitrios Lambrinos. Navigation in an Autonomous Flying Robot by Using a Biologically Inspired Visual Odometer [C]. Byston U. S. A.: Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2000. 10, 86-97.
- [25] 蔡自兴. 中国的智能机器人研究 [J]. 莆田学院学报, 2002, 9(3): 36-39.
- [26] Dusko Katic, Miomir Vukobratovic. Survey of Intelligent Control Techniques for Humanoid Robots [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2003, (6): 117-141.
- [27] Carl DiSalvo, Francine Gempeler. From Seduction to Fulfillment: the Use of Anthropomorphic form in Design [C]. Proceedings of the 2003 International Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces, New York USA: ACM Press, 2003. 6: 67-72.
- [28] 谢涛, 徐建峰, 张永学, 等. 仿人机器人的研究历史、现状及展望 [J]. 机器人, 2002, 24(4): 367-374.
- [29] Rodney A. Brooks, Cynthia Breazeal, Matthew Marjanovic, *et al.* The Cog Project: Building a Humanoid Robot [C]. Computation for Metaphors, Analogy and Agents, Vol. 1562 of Springer Lecture, Berlin: Springer-Verlag Heidelberg Publisher, 1999. 52-87.
- [30] Tanmiao TANIKAWA, Tatuo ARAI. Two-finger Micro Hand [C]. Leuven, Belgium: Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995. 1674-1679.
- [31] 王守杰. 微操作机器人级显微视觉的研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 1998.

Intelligent Robots and Development

MENG Qing-chun^{1,2}, QI Yong³, ZHANG Shu-jun¹, DU Chun-xia¹, YIN Bo³, GAO Yun¹

(1. Department of Computer Science, Ocean University of China, Qingdao 266071, China; 2. The State Key Lab of Intelligent Technology and Systems, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Department of Electronic Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266071, China)

Abstract: With the development of robotic technology, intelligent robots have become the mainstream in many fields and have broad application prospects. This paper introduces the definition and development history of robots, elaborates the key technologies in intelligent robots research, presents the current situation of each kind of robot and gives corresponding examples. Finally, the development and research trend of intelligent robots in the future is discussed.

Key words: intelligent robots; information fusion; intelligent control; intelligent user interface