



2018

智能机器人 (前沿版) 研究报告

AMiner 研究报告第十二期

清华大学计算机系—中国工程科技知识中心

知识智能联合研究中心 (K&I)

2018 年 9 月

目录

1 概述篇	2
1.1 智能机器人的起源和发展	3
1.1.1 智能机器人起源	3
1.1.2 智能机器人的全球发展	4
1.1.3 我国智能机器人发展现状	5
1.2 机器人发展相关政策	5
2 人才篇	9
2.1 智能机器人研究学者全球分布	9
2.2 国际学者	11
2.3 国内学者	22
3 技术篇	35
3.1 感知与学习 (Perception and Learning)	36
3.2 规划与决策 (Planning and Decision)	37
3.3 动力学与控制 (Dynamics and Control)	38
3.4 人机交互 (Interaction)	39
4 传感器技术	41
4.1 视觉 (Vision)	41
4.2 触觉 (Tactile)	42
4.3 听觉 (Auditory)	43
4.4 激光雷达 (Lidar)	44
5 应用篇	47
5.1 无人驾驶	47
5.2 室内服务	47
5.3 物流运输	49

5.4 极端环境.....	49
5.5 军事应用.....	51
6 比赛篇	54
6.1 机器人世界杯 (RoboCup)	54
6.2 国际智能机器人与系统大会 (IROS)	54
6.3 机器人大赛 (ICRA RoboMaster 机器人大赛)	55
7 趋势篇	57
7.1 机器人与 AI 交叉研究.....	57
7.1.1 历史热点图	57
7.1.2 趋势预测.....	58
7.2 我国机器人发展的前景展望	58

AMiner

- 图表目录 -

图 1 机器人学者全球分布地图.....	9
图 2 智能机器人学者全球分布统计.....	9
图 3 各国智能机器人领域人才迁徙图	10
图 4 中美智能机器人人才迁入国对比	10
图 5 智能机器人领域专家 h-index 分布图	11
图 6 中国智能机器人人才分布图	22
图 7 中国智能机器人人才城市迁出图	22
图 8 中国智能机器人人才城市迁入图	22
图 9 智能机器人领域中国学者 h-index 分布.....	23
图 10 机器人全球研究趋势	35
图 11 1990-2016 年感知与学习研究趋势.....	36
图 12 1990-2016 年路径规划研究趋势	37
图 13 1990-2016 年动力学与控制研究趋势	38
图 14 1990-2016 年人机交互发展趋势	39
图 15 视听机器人	44
图 16 运用激光雷达的扫地机器人.....	45
图 17 Google 无人驾驶汽车.....	47
图 18 本田公司服务机器人 ASIMO.....	48
图 19 索尼公司机器狗 Aibo.....	48
图 20 南极探冰机器人	50
图 21 美军“死神”无人机.....	51
图 22 美军新型战斗机器人	52
图 23 2013 年 water 队夺冠.....	54
图 24 第 29 届 IROS 大会	55
图 25 ICRA RoboMaster 机器人大赛挑战现场.....	55

图 26 2007 年至今机器人学领域与人工智能领域交叉热点图.....	57
图 27 机器人学领域与人工智能领域未来 3 年趋势热点图	58

AMiner

摘要

近二十年来,互联网的发展带动了一系列网络延展科技的发展,给人们的生活带来了翻天覆地的变化。未来互联网将向物联网发展,而在物联网的时代,RT(Robotics Technology)将取代IT成为全球经济增长的新引擎。作为集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备,智能机器人的诞生对未来的生产生活产生了变革性的影响。智能机器人不仅广泛运用于工厂作业中,近两年来开始向家庭生活运用渗透,智能机器人正在不断改变人们的生产生活方式。洞察智能机器人的发展,把控智能机器人学未来的发展趋势,掌握国家对于智能机器人产业的政策动态,需要了解机器人学的知识图谱、学科起源与主要研究学者等知识。本文从机器人学的发展概述出发,介绍了机器人所运用的人工智能领域的关键技术,并根据AMiner数据挖掘了智能机器人学者在国内外的分布,探讨了目前智能机器人的应用领域,还预测机器人学未来的发展趋势。本研究报告对智能机器人这一课题进行了简单梳理,包括以下内容:

智能机器人概述。此篇首先对智能机器人概念进行概述;其次对智能机器人的诞生和机器人学的建立及发展进行梳理,主要包括全球智能机器人领域的发展趋势和我国智能机器人领域的发展现状;另外,还罗列并陈述了韩国、美国、法国、英国、德国、中国等国家影响智能机器人发展的相关政策。

智能机器人领域人才介绍。基于AMiner大数据,对智能机器人领域专家进行深入挖掘和介绍。包括顶尖学者的全球与中国分布、迁徙概况、h-index分析,并依据AMiner评价体系,在世界与中国两个层面各选取知名专家学者进行详细介绍。

智能机器人技术原理。主要介绍了感知与学习、规划与决策、动力学与控制、人机交互这四个主要关键技术。

传感器技术。传感器技术的应用,使现代智能机器人具备了类人感知能力,为智能机器人高精度智能化的工作提供了基础。该部分将基于视觉、触觉、听觉和雷达对传感器技术在智能机器人上的应用状况进行阐述。

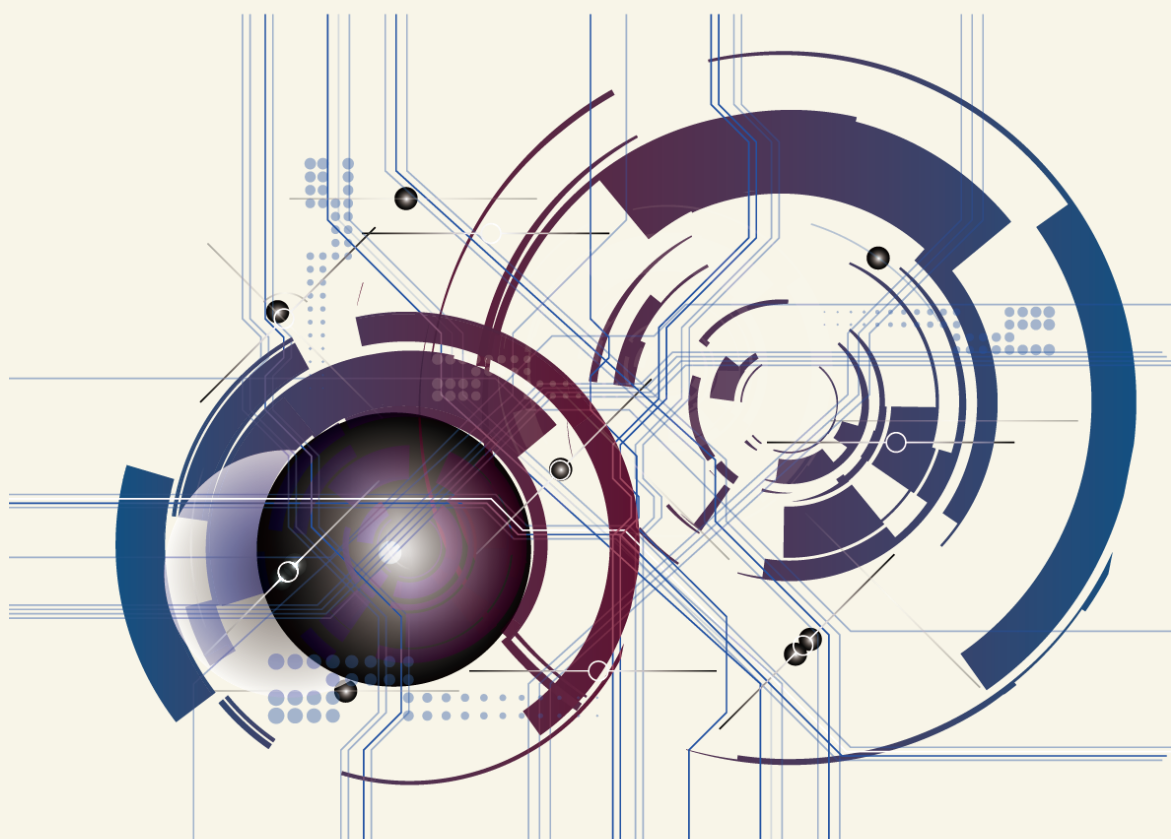
智能机器人在市场中的应用。主要对智能机器人应用最成熟的无人驾驶、室内服务、物流运输、极端环境和军事应用等五个领域进行介绍。

世界知名机器人大赛。机器人世界杯、国际智能机器人与系统大会、机器人大赛为促进智能机器人的研究和发展做出了重要贡献。

智能机器人发展趋势预测。智能机器人无论是在AI研究领域还是市场领域都有广阔的发展前景。报告通过两部分对智能机器人发展趋势进行预测,第一部分运用AMiner对两个领域知识图谱的计算,再对两个领域的细分子领域进行笛卡尔乘积热点挖掘,挖掘出历史数据热点并对未来趋势进行预测;第二部分对我国智能机器人发展前景进行推测和展望。

1 summary

概述篇



1 概述篇

机器人学（Robotics）是与机器人设计、制造和应用相关的科学，又称为机器人技术或机器人工程学，主要研究机器人的控制与被处理物体之间的相互关系。目前已经演变为机器人相关的通用技术的学科分支。

机器人的诞生和机器人学的建立及发展，是 20 世纪自动控制领域最显著的成就之一，是 20 世纪人类科学技术进步的重大成果。目前，全世界已经有近千万台机器人在运行，而每年机器人的销售额仍然保持 20% 以上的增长率。随着机器人应用领域的不断扩大，机器人已从传统的制造业进入人类的工作和生活领域，对国民经济和人民生活的各个方面均已产生重要影响。另外，随着需求范围的扩大，机器人结构和形态的发展呈现多样化，机器人系统逐步向具有更高智能和更密切与人类社会融洽的方向发展。

机器人的种类繁多，根据不同的标准可以进行多种分类。国际学术界通常将机器人分为工业机器人和服务机器人两大类。工业机器人是集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能等多学科先进技术于一体的现代制造业重要的自动化装备。自从 1962 年美国研制出世界上第一台工业机器人以来，机器人技术及其产品已成为柔性制造系统（FMS）、自动化工厂（FA）、计算机集成制造系统（CIMS）的自动化工具。服务机器人是机器人家族中的一个年轻成员，可以分为专业领域服务机器人和个人、家庭服务机器人。服务机器人的应用范围很广，主要从事维护保养、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。而我国的机器人专家从应用环境出发，将机器人分为工业机器人和特种机器人两类。工业机器人是面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。特种机器人是除工业机器人之外的、用于非制造业并服务于人类的各种先进机器人，包括：服务机器人、水下机器人、娱乐机器人、军用机器人、农业机器人、机器人化机器人等。在特种机器人中，有些分支发展很快甚至有独立成体系的趋势，如服务机器人、水下机器人、军用机器人、微操作机器人等。

人类的生活正朝智能化的方向不断发展，智能手机、智能电视、智能冰箱等层出不穷，机器的智能化给人们的生活带来了极大的便利，机器人也不可避免地向着智能化发展。智能机器人得以实现主要依赖于两项技术的突破：第一，人机互动方式的改善；第二，数据获取与处理能力的提升。追溯这两项技术的学术之源，机器人学的发展为智能机器人产业的爆发提供了智力支持。机器人学致力于研究如何进一步改善人际互动的方式与优化数据的获取与处理。作为智能机器人产业核心推动力，机器人学的发展直接决定了智能机器人的人机交互能力和数据的获取与处理能力。

智能机器人研究不仅是国家战略的需要，也是学科前沿交叉的典型代表，已成为国家科技创新与发展的助推器。大数据与互联网、智能材料、仿生、微纳、3D 打印、柔性多体动力学、传感与控制技术等快速发展使得以合作、融合为特征的新一代智能机器人成为可能。

1.1 智能机器人的起源和发展

1.1.1 智能机器人起源

“机器人”一词最早出现在 1920 年捷克斯洛伐克剧作家 Karel Capek 的科幻情节剧《罗萨姆的万能机器人》中。

机器人从幻想世界真正走向现实世界是从自动化生产和科学研究的发展需要出发的。1939 年，纽约世博会上首次展出了由西屋电气公司制造的家用机器人 Elektro，但它只是掌握了简单的语言，能行走、抽烟，并不能代替人类做家务。

现代机器人的起源则始于二十世纪 40-50 年代，美国许多国家实验室进行了机器人方面的初步探索。二次世界大战期间，在放射性材料的生产和处理过程中应用了一种简单的遥控操纵器，使得机械抓手就能复现人手的动作位置和姿态，代替了操作人员的直接操作。在这之后，橡树岭和阿尔贡国家实验室开始研制遥控式机械手作为搬运放射性材料的工具。1948 年，主从式的遥控机械手正式诞生于此，开现代机器人制造之先河。美国麻省理工学院辐射实验室（MIT Radiation Laboratory）1953 年研制成功数控铣床，把复杂伺服系统的技术与最新发展的数字计算机技术结合起来，切削模型以数字形式通过穿孔纸带输入机器，然后控制铣床的伺服轴按照模型的轨迹作切削动作。

上世纪 50 年代以后，机器人进入了实用化阶段。1954 年，美国的 George C. Devol 设计并制作了世界上第一台机器人实验装置，发表了《适用于重复作业的通用性工业机器人》一文，并获得了专利。George C. Devol 巧妙地把遥控操作器的关节型连杆机构与数控机床的伺服轴连接在一起，预定的机械手动作一经编程输入后，机械手就可以离开人的辅助而独立运行。这种机器人也可以接受示教而能完成各种简单任务。示教过程中操作者用手带动机械手依次通过工作任务的各个位置，这些位置序列记录在数字存储器内，任务执行过程中，机器人的各个关节在伺服驱动下再现出那些位置序列。因此，这种机器人的主要技术功能就是“可编程”以及“示教再现”。

上世纪 60 年代，机器人产品正式问世，机器人技术开始形成。1960 年，美国的 Consolidated Control 公司根据 George C. Devol 的专利研制出第一台机器人样机，并成立 Unimation 公司，定型生产了 Unimate（意为“万能自动”）机器人。同时，美国“机床与铸造公司”（AMF）设计制造了另一种可编程的机器人 Versatran（意为“多才多艺”）。这两种型号的机器人以“示教再现”的方式在汽车生产线上成功地代替工人进行传送、焊接、喷漆等作业，它们在工作中表现出来的经济效益、可靠性、灵活性，使其它发达工业国家为之倾倒。于是 Unimate 和 Versatran 作为商品开始在世界市场上销售，日本、西欧也纷纷从美国引进机器人技术。这一时期，可实用机械的机器人被称为工业机器人。

在机器人崭露头角于工业生产的同时，机器人技术研究不断深入。1961 年，美国麻省理工学院 Lincoln 实验室把一个配有接触传感器的遥控操纵器的从动部分与一台计算机连结在一起，这样形成的机器人可以凭触觉决定物体的状态。随后，用电视摄像头作为输入的计算机图像处理、物体辨识的研究工作也陆续取得成果。1968 年，美国斯坦福人工智能实验室（SAIL）的 J.McCarthy 等人研究了新颖的课题——研制带有手、眼、耳的计算机系统。

于是，智能机器人的研究形象逐渐丰满起来。

上世纪 70 年代以来，机器人产业蓬勃兴起，机器人技术发展为专门的学科。1970 年，第一次国际工业机器人会议在美国举行。工业机器人各种卓有成效的实用范例促成了机器人应用领域的进一步扩展；同时，又由于不同应用场合的特点，导致了各种坐标系统、各种结构的机器人相继出现。而随后的大规模集成电路技术的飞跃发展及微型计算机的普遍应用，则使机器人的控制性能大幅度地得到提高、成本不断降低。于是，导致了数百种类的不同结构、不同控制方法、不同用途的机器人终于在 80 年代以来真正进入了实用化的普及阶段。进入 80 年代后，随着计算机、传感器技术的发展，机器人技术已经具备了初步的感知、反馈能力，在工业生产中开始逐步应用。工业机器人首先在汽车制造业的流水线生产中开始大规模应用，随后，诸如日本、德国、美国这样的制造业发达国家开始在其他工业生产中也大量采用机器人作业。

上世纪 80 年代以后，机器人朝着越来越智能的方向发展，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。智能机器人的发展主要经历了三个阶段，分别是可编程试教、再现型机器人，有感知能力和自适应能力的机器人，智能机器人。其中所涉及到的关键技术有多传感器信息融合、导航与定位、路径规划、机器人视觉智能控制和人机接口技术等。

进入 21 世纪，随着劳动力成本的不断提高、技术的不断进步，各国陆续进行制造业的转型与升级，出现了机器人替代人的热潮。同时，人工智能发展日新月异，服务机器人也开始走进普通家庭的生活。

经过几十年的发展，机器人技术终于形成了一门综合性学科——机器人学(Robotics)。一般地说，机器人学的研究目标是以智能计算机为基础的机器人的基本组织和操作，它包括基础研究和应用研究两方面内容，研究课题包括机械手设计、机器人动力和控制、轨迹设计与规划、传感器、机器人视觉、机器人控制语言、装置与系统结构和机械智能等。由于机器人学综合了力学、机械学、电子学、生物学、控制论、计算机、人工智能、系统工程等多种学科领域的知识，因此，也有人认为机器人学实际上是一个可分为若干学科的学科门类。同时，由于机器人是一门不断发展的科学，对机器人的定义也随着其发展而变化，目前国际上对于机器人的定义纷繁复杂，RIA、JIRA、NBS、ISO 等组织都有各自的定义，迄今为止，尚没有一个统一的机器人定义。

1.1.2 智能机器人的全球发展

从全球机器人市场规模来看，在全球整体机器人市场规模不断扩大的背景之下，亚洲市场是全球机器人消费的最大市场。根据 2014 年波士顿咨询公司（Boston Consulting Group, BCG）的估计，2025 年机器人市场规模将达到 670 亿美元；而 2017 年，这一估计值已经被上调至 870 亿美元。其中，商业市场的增长幅度从 17%被调整至 22.8%；消费市场的增长幅度则从 9%上调至 23%。这也预示着当前全球机器人市场正在经历发展方向的转移，由当前以工业机器人为主逐渐转向以服务机器人为主。根据 IFR 统计，2010 年-2016 年，服务机器人全球销量从 39.64 亿美元上升至 74.5 亿美元，年均复合增速 11.14%，个人使用的服务机器人市场预计在 2018-2020 年间也将达到 110 亿美元的规模。

1.1.3 我国智能机器人发展现状

从产业的角度而言，我国对于机器人有着极大的产业需求，据 IFR 的产业报告，中国是全球机器人需求量最大的国家。但是就技术的发展而言，我国对于机器人学的研究起步比较晚。在 20 世纪 70 年代开始，机器人学才开始在我国萌芽。随后的二十年里，机器人学在我国蓬勃发展，随着一批批中国学者前赴后继地投入机器人学研究，我国在相关领域的学术发展在全球崭露头角。我国机器人学发展的主要的历史事件有：1972 年，中国科学院沈阳自动化研究所开始了机器人的研究工作；1985 年 12 月，我国第一台水下机器人“海人一号”首航成功，开创了机器人研制的新纪元；1986 年，“智能机器人主题”作为自动化技术主题之一被列为《国家高技术研究发展计划》即 863 计划发展的主要领域，此外还有航空领域确定的“空间机器人”专题，凸显了国家战略对机器人研究的重视；1997 年，南开大学机器人与信息自动化研究所研制出我国第一台用于生物实验的微操作机器人系统。2015 年，国内工业 4.0 规划——《中国制造 2025》行动纲领出台，其中提到，我国要大力推动优势和战略产业快速发展机器人，包括医疗健康、家庭服务、教育娱乐等服务机器人应用需求。经过近四十年的发展，我国机器人的研究有了很大的发展，有的方面已达到世界先进水平，但与先进的国家相比还是有较大差距，从总体上看，我国机器人研究仍然任重道远。

自 2016 年以来，中国一直是工业机器人的最大使用国。到 2020 年，这个数据预计将增长到 95 万台，超过欧洲的 61 万台。到 2020 年大约有 190 万机器人将在亚洲各地运作着，这几乎等同于 2016 年全球的机器人存量；而根据 IFR 表示，中国已经成为了世界上最大的机器人消费国——目前中国排在工业机器人销量市场的第一位，而美国仅仅排在第四位。数据显示，珠三角地区是我国机器人产业发展领先的地区，机器人相关企业数量为 747 家，总产值达 750 亿元，平均销售利润率为 17%，规模和效益在国内都属首屈一指。根据《中国制造 2025》的规划，2020、2025 和 2030 年工业机器人销量的目标，将分别达到 15 万台、26 万台和 40 万台，预计未来 10 年中国机器人市场将达 6000 亿元人民币。

1.2 机器人发展相关政策

机器人的发展一直都是世界主要发达国家战略重点。从 2012 年至今，发达国家针对机器人发展纷纷推出国家层面的机器人发展支持的策略，希望能够在市场上抢占机器人发展的先机与主动权。

2012 年韩国发布《机器人未来战略 2022》，希望进入全球前三强；2013 年美国发布《机器人发展路线图》，提出机器人发展的九大重点领域；法国发布《机器人行动计划》，推出机器人发展九大措施；2014 年英国发布《机器人和自主系统战略 2020》，希望占据全球机器人 10% 的市场份额；德国发布《工业 4.0 战略》，让机器人接管工厂。

其中，德国为了实现传统产业转型升级，陆续提出了本国的机器人领域发展带动产业升级战略规划。按照德国在 2013 年汉诺威工业博览会上提出的工业 4.0 计划，通过智能人机交互传感器，人类可借助物联网对下一代工业机器人进行远程管理，同时工业 4.0 中的智能工厂和智能生产环节都需要借助不断升级的智能机器人。这不仅有助于解决机器人使用中的高能耗问题，还可促进制造业的绿色升级，全面实现工业自动化。据统计，德国是世界第

五大机器人市场，同时也是欧洲最大的机器人市场。

此外，用机器人“打败”人，是美国“再工业化”战略的方法之一。众所周知，全球第一台工业机器人就是在美国汽车生产中得到应用，由此拉开工业自动化新时代。如今，美国“再工业”化发展政策，将主要瞄准先进制造业，大力推动高附加值制造产业。因此，其对工业机器人的需求也将快速上升。

国际机器人联合会预测，“机器人革命”将创造数万亿美元的市场。由于大数据、云计算、移动互联网等新一代信息技术同机器人技术相互融合步伐加快，3D 打印、人工智能迅猛发展，制造机器人的软硬件技术日趋成熟，成本不断降低，性能不断提升，军用无人机、自动驾驶汽车、家政服务机器人已经成为现实，有的人工智能机器人已具有相当程度的自主思维和学习能力。国际上有舆论认为，机器人是“制造业皇冠顶端的明珠”，其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。在此背景下，各个国家的机器人主要制造商纷纷加紧布局，抢占技术和市场制高点。

对中国而言，当前的任务不仅是要把机器人水平提高上去，而且还要尽可能多地占领市场。2013 年 12 月 22 日，工信部为加强行业管理、推进我国工业机器人产业有序健康发展，提出了关于推进工业机器人产业发展的指导意见；2014 年 6 月，习近平在两院院士大会上的讲话提到，“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，而且我国将成为全球最大的机器人市场。2017 年 7 月 31 日，为了促进智能机器人以及相关领域的大力发展，科技部发布了智能机器人重点专项 2017 年度项目申报指南。通知中规定，2017 年度“智能机器人”重点专项按照基础前沿技术类、共性技术类、关键技术与装备类、示范应用类四个层次，发布 42 条指南。其中基础前沿技术类指南 5 条，主要涉及机器人新型机构设计、智能发育理论与技术，以及互助协作型、人体行为增强型等新一代机器人验证平台研究。目前，我国工业机器人产业的发展目标是开发满足用户需求的工业机器人系统集成技术、主机设计技术及关键零部件制造技术，突破一批核心技术和关键零部件，提升主流产品的可靠性和稳定性指标，在重要工业制造领域推进工业机器人的规模化示范应用。

同时，国内的几个主要城市如北京、上海、深圳等也推出了相应的政策。

北京市经济和信息化委员会于 2017 年 9 月 25 日印发《北京市机器人产业创新发展路线图》，提出“到 2025 年建成全球新兴的机器人产业创新中心”的战略愿景。按照《北京市机器人产业创新发展路线图》，北京将分两阶段实现战略目标。第一阶段是，到 2020 年，北京机器人产业收入达到 120 至 150 亿元，培育形成 10 家行业领军企业、10 个研发创新总部，实施 10 个工业机器人重大应用项目；第二阶段是，到 2025 年，北京机器人产业收入达 600 亿元左右，形成全球领先的机器人技术协同创新体系，人工智能等前沿领域达到世界领先水平，操作系统及软件达到国际先进水平，基本建成全球领先的机器人创新应用基地。

为了加快推进上海市机器人产业发展及应用，上海市经济信息化委于 2014 年 11 月 10 日印发了《关于上海加快发展和应用机器人促进产业转型提质增效的实施意见》。上海机器人产业发展已经具备一定基础，已成为我国规模最大的机器人产业集聚区，形成了外资企业与内资企业、本地企业与国内其他企业竞相发展格局，形成机器人研发、生产、应用等较为

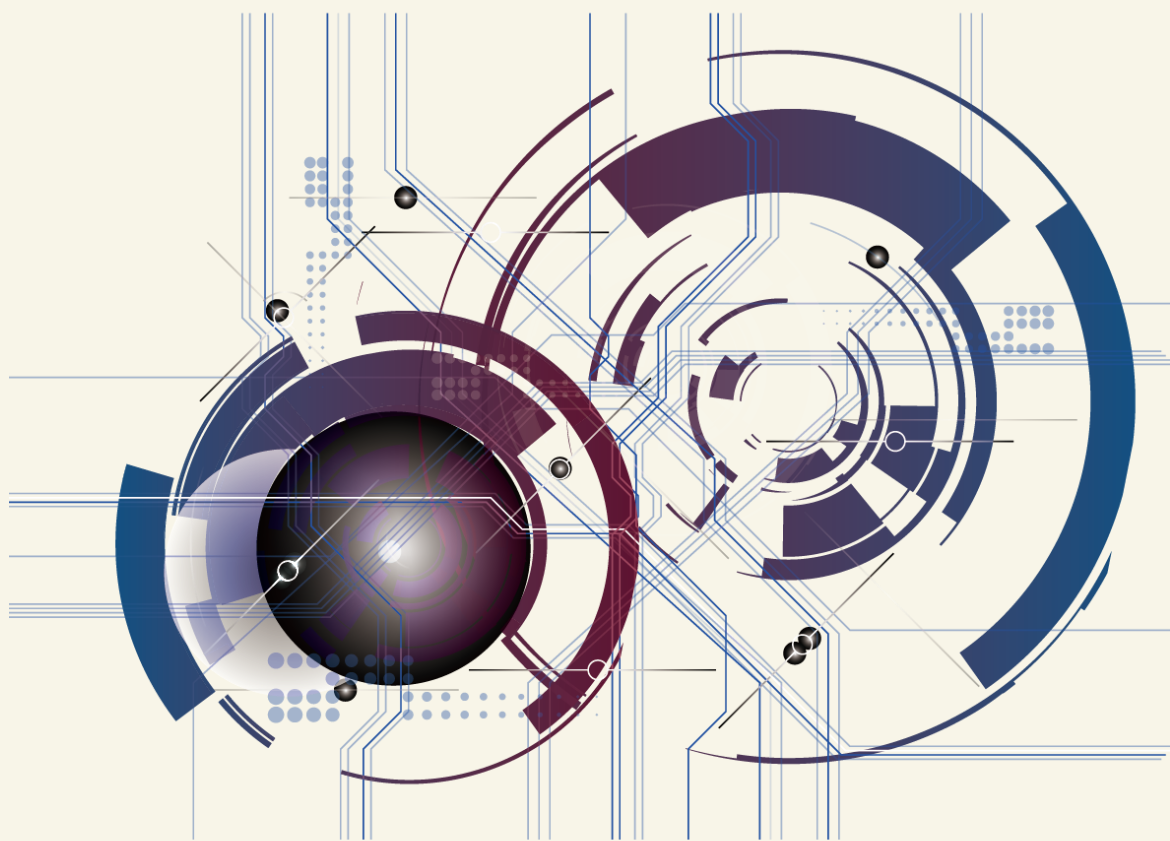
完整的产业链，集聚了一批本体和功能部件企业、系统集成商、相关大学和科研院所。但上海在机器人产业发展上与欧美、日韩等发达国家相比，还存在着核心功能部件依赖国外技术、自主本体企业尚未形成规模、自主研发的机器人难以满足市场要求等不足。因此，上海市将采取突破机器人产业关键瓶颈、搭建机器人产业服务平台、创新机器人产业发展模式等促进措施，并明确提出将探索设立机器人产业基金。

国家自然科学基金委员会和深圳市政府在 2016 年全国两会期间于北京签订协议，双方将联合资助机器人基础研究中心项目，加快推进机器人基础研究中心项目落地，共同推动机器人科技创新发展，努力把深圳打造成为国内领先、世界一流的机器人产业基地。深圳是全国首个以城市为单元的国家自主创新示范区，科技创新走在前列，机器人产业发展也步入“快车道”，集聚了雄厚的资源。国家自然科学基金委和深圳市政府联合资助机器人基础研究中心项目，能够更好地落实供给侧结构性改革的要求，充分发挥国家自然科学基金的导向作用和深圳机器人研究开发、产业应用等方面的资源优势，打通产学研链条，吸引和汇聚全国机器人领域的科学家积极开展基础研究，积极促进机器人领域研究成果在产业上的推广和应用，为国家科技进步和实施“中国制造 2025”战略做出积极贡献。

AMiner

2 talent

人才篇



2 人才篇

早期机器人的运用主要是在工厂结构化的环境中，20 世纪 80 年代中期开始，机器人的力量开始向日常生活中渗透。家庭清洁、办公助理、医院辅助等机器人给人们的生活带来了天翻地覆的变化。作为一门与人类福祉息息相关的学科，机器人学在全球掀起了研究的热潮。

2.1 智能机器人研究学者全球分布

根据 AMiner 最新发布的机器人学人才库，机器人学的全球学者分布与相应国家对于智能机器人的产业需求是类似的——从国家来看，美国是机器人学研究学者聚集最多的国家，日本、德国、意大利紧随其后；从地区来看，美国东部是机器人学人才的集中地，而西欧、美国西部等其他制造业先进地区也吸引了大量机器人学的研究者。



图 1 机器人学者全球分布地图

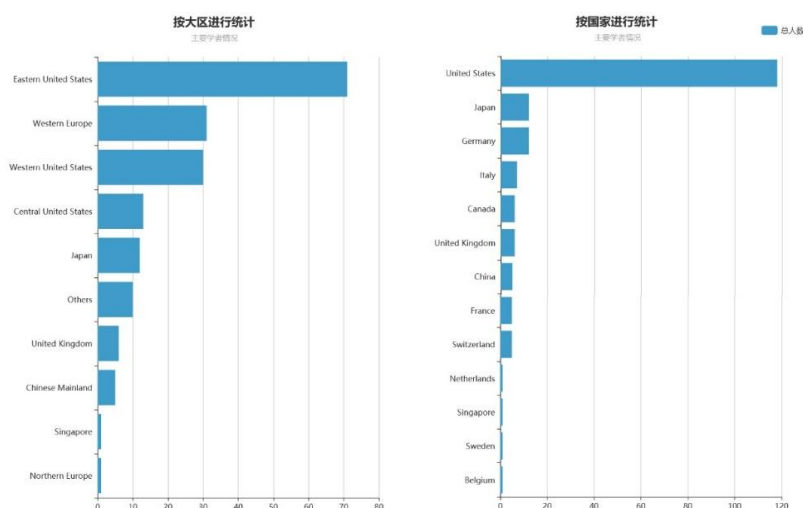


图 2 智能机器人学者全球分布统计

整体来看，美国在智能机器人研究方面的人才实力占据绝对优势，这可能与其在该领域发展的历史最为悠久有关，第一台机器人最早就由美国研发而成，这一成就比起号称“机器人王国”的日本也早五六年。至今，从机器人学的产业化运用来看，美国的相关技术与

发展在全球仍然处于遥遥领先的地位。

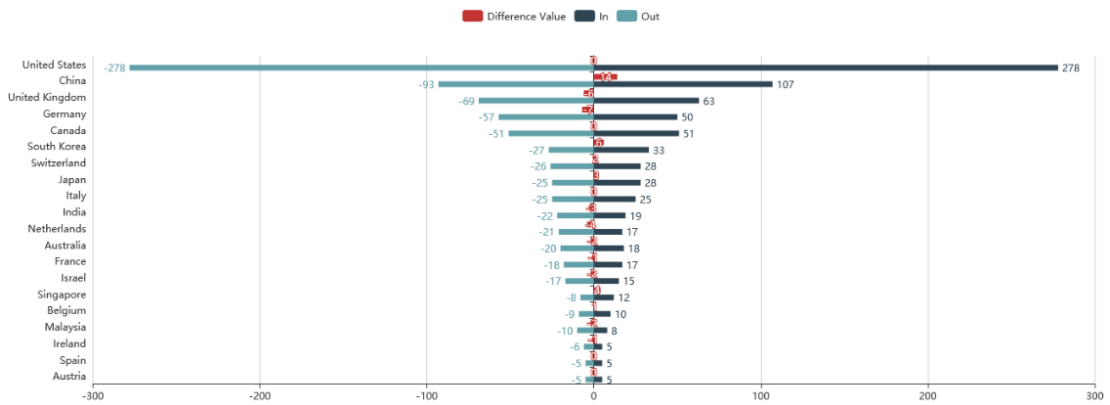


图 3 各国智能机器人领域人才迁徙图

由上图可以看出，各国机器人领域人才的流失和引进是相对比较均衡的，其中美国是机器人领域人才流动大国，人才输入和输出幅度都大幅度领先，且从数据来看人才流动保持平衡状态。中国、英国、德国和加拿大等国落后于美国，其中中国人才流入量明显大于流失量，英国和德国则有轻微的人才流失迹象。

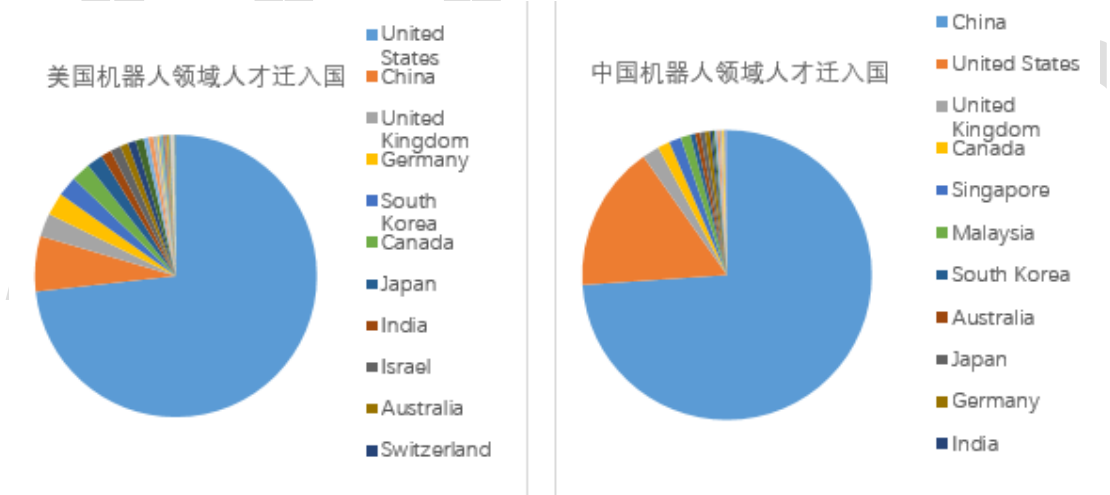


图 4 中美智能机器人人才迁入国对比

由上图可以看出，中美两国智能机器人人才流动主要集中于本国之间。其中，美国智能机器人人才除在本国流动外，中国、英国、韩国、加拿大和日本分别是美国机器人人才迁入国；中国智能机器人人才除在本国流动外，迁入排名靠前的国家分别是美国、英国、加拿大、新加坡、马来西亚和韩国等，其中美国是中国机器人人才迁入最多的国家，其余主要分散在日本、韩国、新加坡等亚洲国家。而美国人才流入他国的人才分散在各洲的不同国家。中国机器人人才更习惯于在周边国家进行交流学习。

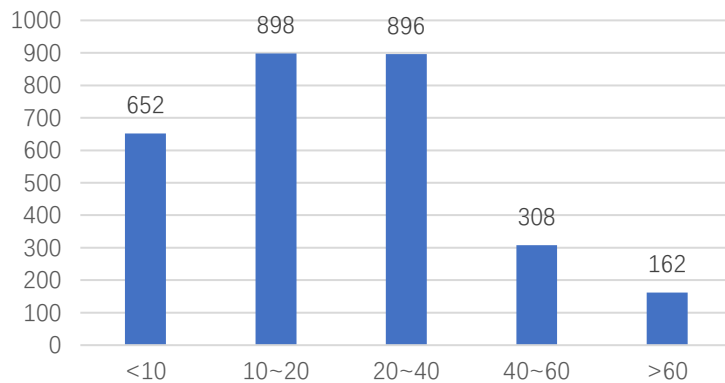


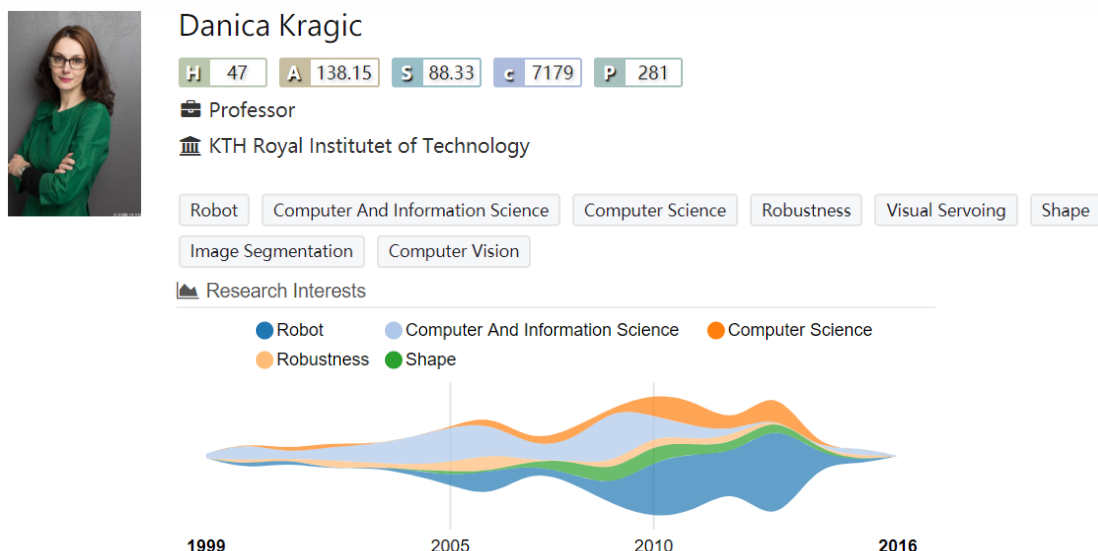
图 5 智能机器人领域专家 h-index 分布图

全球智能机器人领域专家 h-index 的平均值为 24。由上图可见全球机器人领域专家 h-index 分布不均衡，其中 h-index 在 10-20 区间和 20-40 区间的人数最多，均占总人数的 30% 左右；h-index>60 的人数最少，占总人数的 5% 左右；全球学者 h-index 分布主要集中在中间区域。可见，在智能机器人领域顶尖人才比较匮乏。

AMiner 基于发表于国际期刊会议的学术论文，对智能机器人领域专家进行深入挖掘，并按照相关度和影响力等对专家进行排序和分类，排序和分类规则主要参考专家的 h-index、paper、citation、专家所获得的荣誉、任职机构排名、专家活跃性社交性以及多样性等。由于机器挖掘算法以及原始数据的限制，并且限于本报告篇幅，不能完全罗列所有学者，仅根据 AMiner 提供的数据选取以下学者做简单介绍。

2.2 国际学者

● Danica Kragic



Danica Kragic 是瑞典斯德哥尔摩皇家理工学院（KTH）的计算机科学教授，自治系统中心主管，还一直是美国哥伦比亚大学和约翰霍普金斯大学的访问学者。

Danica Kragic 于 1995 年获得克罗地亚里耶卡技术大学机械工程硕士学位，并于 2001 年

获得 KTH 计算机科学博士学位，并拥有拉彭兰塔理工大学的荣誉博士学位。她是欧洲研究委员会（ERC）补助基金和 IEEE 机器人与自动化学会早期学术奖的获得者，是瑞典皇家科学学会与瑞典青年科学院的成员。研究领域包括机器人、计算机视觉和机器学习。

Danica Kragic 研究领域包括机器人、计算机视觉和机器学习。她研究机器人如何与同类交流，如何感知以及如何看到和抓取目标物体。她的目标数项之一是建立一个未来的系统，让机器人与人类和周围环境实现自然的互动。作为一个计算机视觉与机器人方面的专家，她与同在一个领域内的欧盟计划合作。她说：“未来机器发展将出现巨大变化，机器的速度、工作速度和计算速度将越来越快”。她认为，机器人发展趋势是：亚洲趋向于研究娱乐型机器人，欧洲趋向于研究功能型机器人，美国则趋向于研究大量军用机器人。她对未来的工作场所做过这样的阐述：机器人和人类密切合作，充当人类的第三只或第四只手。

Danica Kragic 获得了 2007 年 IEEE 机器人与自动化学会早期学术职业奖。她主持了 IEEE RAS 计算机和机器人视觉技术委员会，并担任 IEEE RAS AdCom 成员。她于 2012 年获得了 ERC 启动资助。而且，她的研究得到了欧盟、Knut 和 Alice Wallenberg 基金会，瑞典战略研究基金会和瑞典研究委员会的支持，并于 2016 年被任命为电气和电子工程师协会（IEEE）研究员。

下面选取了 Danica Kragic 几篇有代表性的论文：

281

Data-Driven Grasp Synthesis—A Survey

Jeannette Bohg, Antonio Morales, Tamim Asfour, **Danica Kragic**

IEEE Transactions on Robotics (2014)

Cited by 300 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/document/6672028/>

EI

280

Dual arm manipulation - A survey.

Christian Smith, Yiannis Karayiannidis, Lazaros Nalpantidis, Xavi Gatal, Peng Qi, Dimos V. Dimarogonas, **Danica Kragic**

Robotics and Autonomous Systems (2012)

Cited by 235 Bibtex <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188901200108X>

EI

279

Survey on Visual Servoing for Manipulation

Danica Kragic, Henrik I Christensen

USENIX Technical Conference (2002)

Cited by 214 Bibtex

278

Minimum volume bounding box decomposition for shape approximation in robot grasping

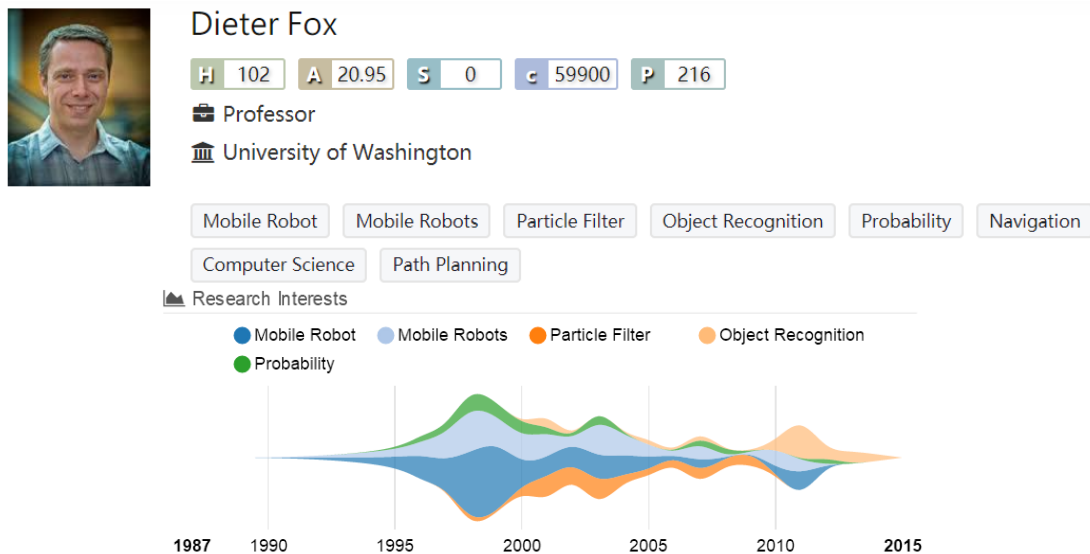
Kai Huebner, Steffen Ruthotto, **Danica Kragic**

ICRA (2008)

Cited by 169 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2008.4543434>

EI

● Dieter Fox



Dieter Fox 是德国的机器人学家，目前为美国华盛顿大学西雅图分校计算机科学与工程系的教授。

Dieter Fox 在德国波恩大学获得了计算机科学的博士学位。他的研究兴趣主要集中在人工智能领域，尤其是概率状态估计和机器学习及其在机器人学与活动识别中的应用。除此之外，他在普适计算方面的研究也成就斐然。早在 2009 年 Dieter Fox 担任因特尔西雅图实验室负责人时，在机器人学、人工智能以及机器学习方面的研究就为因特尔团队贡献了意想不到的惊喜成果。他率领团队进行了利用计算机系统感知环境的尝试，其结果对未来的消费市场产生了重要影响。“尽管目前的智能手机大都配备了 GPS，可如何才能通过利用这些设备获取的数据拓展用户对设备的使用体验呢？”成为他力图运用机器人技术攻克的难题。在他看来，如果能够把握智能机器人的开发，那么 Intel 在未来的家用机器人市场上将牢牢占据一席之地。如今，十年过去，事实证明，机器人的感知技术至今仍然是各大研究开发机构关注的重点。

Dieter Fox 已经发表超过 150 篇学术成果。同时，他还是机器人学领域经典著作《概率机器人学》（Probabilistic Robotics）的共同作者，这本书被誉为是奠定当代主流机器人理论之作，书中详细介绍了粒子滤波的机器人应用，并从概率的角度讲解了机器人问题的解决方法。Dieter Fox 的学术成就获得了世界顶尖研究机构的认可。他曾担“The Journal of Artificial Intelligence Research”（人工智能研究杂志）以及 IEEE 机器人学报的编委。目前，他是 AAAI 和 IEEE Fellow。

下面选取了 Dieter Fox 几篇有代表性的论文：

Robust Monte Carlo localization for mobile robots
Sebastian Thrun, Dieter Fox, Wolfram Burgard, Frank Dellaert
Artif. Intell. (2001)
Cited by 1991 Bibtex [http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702\(01\)00069-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00069-8)

El

Monte Carlo Localization for Mobile Robots EI
 Frank Dellaert, **Dieter Fox**, Wolfram Burgard, Sebastian Thrun
 ICRA (1999)
 Cited by 1612 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.1999.772544>

A Probabilistic Approach to Concurrent Mapping and Localization for Mobile Robots EI
 Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, **Dieter Fox**
 Auton. Robots (1998)
 Cited by 1183 Bibtex <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008806205438>

Markov Localization for Mobile Robots in Dynamic Environments EI
 Wolfram Burgard, **Dieter Fox**, Sebastian Thrun
 CoRR (2011)
 Cited by 1132 Bibtex <http://arxiv.org/abs/1106.0222>

● 福田敏男

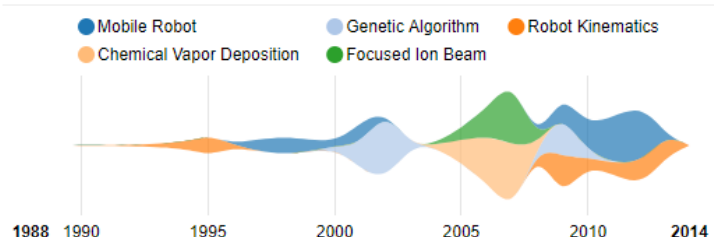


Toshio Fukuda

H 15 A 0 S 0 c 1328 P 49

Mobile Robot Genetic Algorithm Robot Kinematics Chemical Vapor Deposition Robots
 Temperature Measurement Mathematical Model Dynamic Model

Research Interests



福田敏男是日本机器人专家，被誉为“微纳机器人之父”。

福田敏男毕业于早稻田大学机械工程专业，在东京大学获得机械工程博士学位。他曾于 1982 年至 1989 年间任教于东京理科大学；1989 年起，在名古屋大学任教；2012 年入选中国首批“外专千人计划”，就职于北京理工大学。

福田敏男主要从事微纳操作机器人和仿生机器人研究，是世界公认的生物医学微纳操作机器人领域的开拓者和引领者。主要取得了以下研究成果：（1）开创了碳纳米管的微纳操纵技术，并开展纳米传感器和纳米驱动器的研究，为微纳操作机器人系统研究奠定了基础。（2）提出基于环境扫描电子显微镜的微纳操作机器人系统，可实现单细胞生物特性分析、纳米尺度条件下的原位检测与生物细胞的微纳操作。（3）通过研究猿猴在树枝间的摆荡，提出了一种摆动控制器，使仿猿猴机器人可以在梯子连续几个梯级间自然平滑运动，为机器人的自然运动和智能控制研究起到了极大的推动作用。

福田敏男是日本工程院院士（2003 年）、中国科学院外籍院士（2017 年）。于 2010 年获 IEEE 机器人与自动化奖（IEEE Robotics and Automation Award）。2015 年获颁日本紫绶褒章。

下面选取了福田敏男几篇有代表性的论文：

49

Approach to the dynamically reconfigurable robotic system EI

Toshio Fukuda, Seiya Nakagawa

Journal of Intelligent and Robotic Systems (1988)

Cited by 236  <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00437320>

48

Feedback Control of an Omnidirectional Autonomous Platform for Mobile Service Robots EI

Keigo Watanabe, Yamato Shiraishi, Spyros G. Tzafestas, Jun Tang, Toshio Fukuda

Journal of Intelligent and Robotic Systems (1998)

Cited by 216  <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008048307352>

47

Sliding-mode velocity control of mobile-wheeled inverted-pendulum systems SCOPUS WOS EI

Jian Huang, Zhi-Hong Guan, Takayuki Matsuno, Toshio Fukuda, Kosuke Sekiyama

IEEE Transactions on Robotics (2010)

Cited by 156  <http://ieeexplore.ieee.org/document/5512655/>

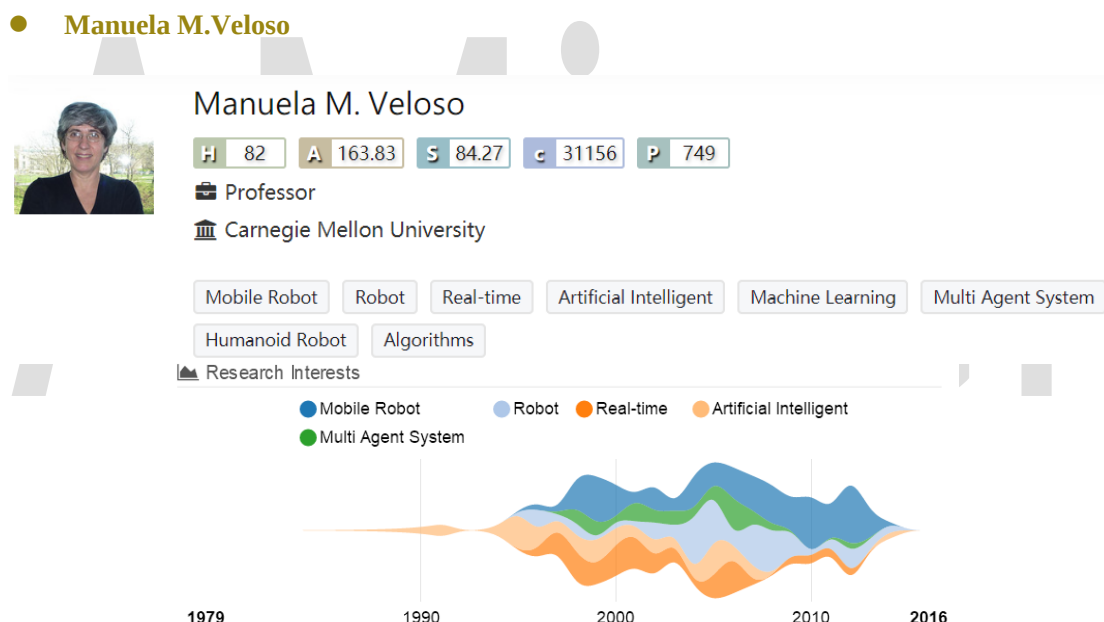
46

Human-walking-intention-based motion control of an omnidirectional-type cane robot SCOPUS WOS

Kohei Wakita, Jian Huang, Pei Di, Kosuke Sekiyama, Toshio Fukuda

IEEE/ASME Transactions on Mechatronics (2013)

Cited by 111  http://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/84866516644



Manuela M.Veloso 是一位享誉世界的人工智能及机器人学专家，现任卡耐基梅隆大学电子与计算机工程系教授。

Manuela M.Veloso 于 1992 年从卡耐基梅隆大学毕业，获得计算机专业博士学位。毕业后，她留在卡耐基梅隆大学任教，成为多智能体系统专家，致力于“有效地构建认知、感觉与行动相结合的自主机器人，以完成计划、执行及学习任务”。

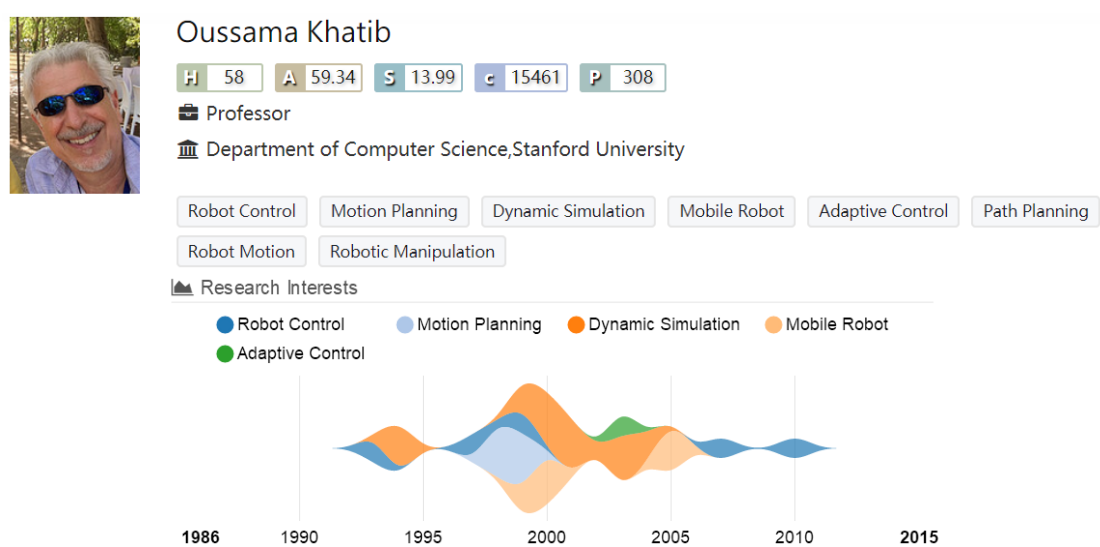
Manuela M.Veloso 于 2003 年成为 AAAI Fellow，并在其后担任协会主席，直到 2014 年卸任；于 2010 年成为 IEEE Fellow 和 AAAS（American Association for the Advancement of Science，美国科学促进会）Fellow；于 2012 年受邀成为中国科学院“爱因斯坦讲席教授计划”中的一员；于 2016 年成为 ACM（Association for Computing Machinery，美国计算机协会）Fellow。此外，他还是机器人世界杯的创始人和前任主席。

Manuela M.Veloso 作为自主机器人研究领域的学科带头人之一,对于人工智能的发展与人类之间的关系一直表示乐观。尽管有观点认为人工智能的发展会在越来越多的任务中取代人类并因此造成大规模的失业,他却坚持未来人类代理与自动化助理将成为难舍难分、相辅相成的关系。2016 年 Manuela M.Veloso 在接受采访时,曾预测未来物联网将越来越深入地参与到人们的日常生活中,届时自动化助理将能够为人类提供决策参考,甚至能够支持人类进行科研论文的撰写。而为了能够实现这一点,他认为目前研究的重点应该放在如何使人工智能系统的表达更便于人类理解从而获取人类信任之上。只有解决了人机交互的问题,他所主张的共生自主才能真正达成。在这种状态下,网络信息、人工智能系统和人类将同处于共生系统中,通过无线交流合作完成任务。而对于未来人工智能最终将超越人类智能并将统治人类的担忧,他表示担忧无益,最有利的做法是投资教育,用人工智能的人文主义将人类凝聚起来,更好地处理人工智能与人类的关系。

下面选取了 Manuela M.Veloso 几篇有代表性的论文:

739	A survey of robot learning from demonstration Brenna Argall, Sonia Chernova, Manuela M. Veloso , Brett Browning Robotics and Autonomous Systems (2009) Cited by 1732 Bibtex https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889008001772	EI
738	Multiagent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective Peter Stone, Manuela Veloso Auton. Robots (1996) Cited by 1289 Bibtex https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008942012299	EI
737	Fast and Inexpensive Color Image Segmentation for Interactive Robots James Bruce, Tucker Balch, Manuela Veloso IROS (2000) Cited by 784 Bibtex http://dx.doi.org/10.1109/IROS.2000.895274	EI
	Task decomposition, dynamic role assignment, and low-bandwidth communication for real-time strategic teamwork Peter Stone, Manuela Veloso Artif. Intell. (1999) Cited by 533 Bibtex http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(99)00025-9	EI

● **Oussama Khatib**



Oussama Khatib 是一位出生于叙利亚的机器人学家，现为斯坦福大学的计算机科学教授。

Oussama Khatib 于 1980 年在取得法国国立高等航空航天学院的博士学位。近四十年来，他专注于开发利用物理动力学模型来控制机器人系统的理论、算法和技术，以便在复杂机器人与环境进行实时交互时输出最优控制。

Oussama Khatib 作为在机器人领域的开拓者，先后提出了多项突破性的理论，攻克了机器人的控制和操作中出现的多个难题。他的开创性贡献是在 1978 年首次提出了人工势场法（Artificial Potential Field Method, APF），该方法称为后来局部路径规划的常用方式。目前，他是斯坦福机器人实验室的主任，同时还是斯坦福大学跨学科项目 Bio-X 组织的成员；他是现任的 IFRR（International Foundation of Robotics Research，国际机器人研究基金会）主席，也是美国 IEEE Fellow。

Oussama Khatib 对于机器人领域的热爱不仅可以反映在他众多的研究成果和奖项殊荣上，还可以从他接受的公开采访中可见一斑。2013 年，他接受了 IEEE 历史中心以机器人学口述史为主题的采访。席间，他分享了他的科研经历和对机器人学的热爱。提起正在进行的研究项目，他如数家珍；回忆起往年的求学经历，他也仍然念念不忘。其中，最令人印象深刻的是他对于科研的专注与热情。尽管在旁人看来他们研究的课题在当时几乎是不可能的任务，但他认为正是这样一个又一个看似不可能的挑战成就了机器人的发展历史。在这整个过程中，从人类自身得到的启发可能被 Oussama Khatib 认为是他研究中最重要灵感。也正因此，他非常鼓励对机器人学有兴趣的年轻人加入研究的队伍：“这是一个非常有趣、令人惊叹的领域，对它的探索让我感觉我们追求的是与我们人类的行为息息相关的事物，且现在正是我们的研究蓬勃发展的时候。总之，对机器人学的研究是一项需要发挥想象力同时又充满享受的工作”。

下面选取了 Oussama Khatib 几篇有代表性的论文：

297

Springer Handbook of Robotics

Bruno Siciliano, Oussama Khatib

Springer Handbook of Robotics (2007)

Cited by 2548 Bibtex <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3002858&prelayout=flat>

A New Actuation Approach for Human Friendly Robot Design

Michael Zinn, Bernard Roth, Oussama Khatib, J. K. Salisbury

I. J. Robotic Res. (2004)

Cited by 501 Bibtex <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0278364904042193>

Inertial properties in robotic manipulation: an object-level framework

Oussama Khatib

I. J. Robotic Res. (1995)

Cited by 418 Bibtex <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/027836499501400103>

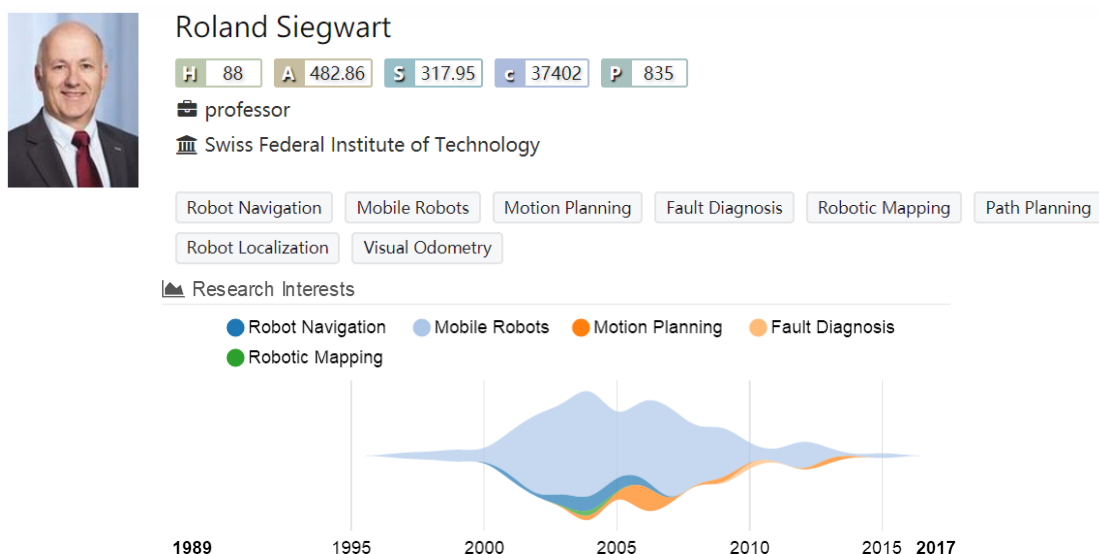
EI

EI

EI

17

● Roland Siegwart



Roland Siegwart 是瑞士著名的机器人学家。现任苏黎世联邦理工学院自动系统教授。

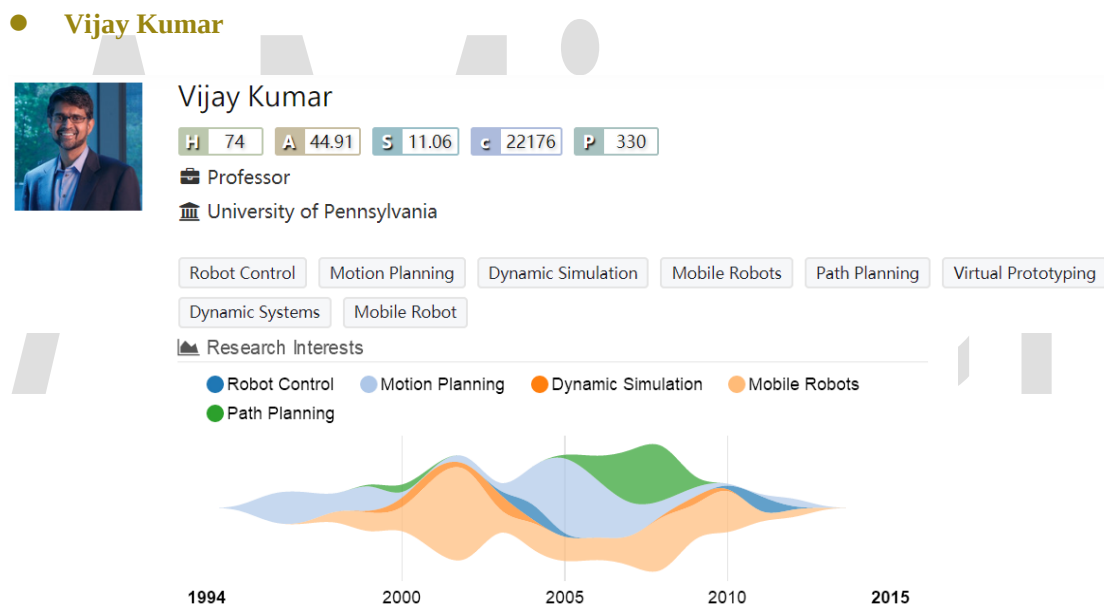
Roland Siegwart 于 1983 年获得了苏黎世联邦理工学院机械工程硕士学位，1989 年获得博士学位、并因其在科研领域的成就荣膺银奖章。1996 年，他被聘为洛桑联邦理工学院全职教授，研究自主微系统和机器人。2006 年起，他担任苏黎世联邦理工学院自动系统教授至今。他的研究兴趣广泛，涉及移动机器人的设计、导航、定位、地图绘制、人机交互、微型机器人及自动驾驶汽车等等。2002 年，他所在的实验室研发了世界上首个能够稳定停在空中的无人机。目前，他的主要方向是解决人工智能机器人面对的不确定性，旨在研发更加个性化的服务型机器人、行星探测机器人、微型自动飞行器以及驾驶辅助系统等。

Roland Siegwart 作为瑞士最优秀的科学家之一，是 EURON (European Robotics Research Network, 欧洲机器人研究网络) 委员会成员；曾在 2004-2005 年间担任 IEEE 技术活动方向副主席。目前，他被任命为瑞士工程科学院院士，同时还是 DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft, 德国科学基金会) 赠款委员会卓越计划成员。

Roland Siegwart 身处苏黎世联邦理工大学这一世界一流、欧盟最好的机器人研究机构，他的研究少了很多后顾之忧。他目前主要研究的工业机器人能够替代人力进行繁杂的数据收集活动，减少劳动时间的同时还可以降低成本，具备明显的商业化前景。他的实验室已经与博世、谷歌、微软及西门子等多个大型跨国企业达成合作。对于工业机器人未来可能对人类工作造成的冲击，他表示不必太过担忧：“社会总会适应，况且有很多工作一开始就不适合人类。比起工作上的竞争，更应该担心的是机器人在物理环境中的安全问题”。

下面选取了 Roland Siegwart 几篇有代表性的论文：

815	Introduction to Autonomous Mobile Robots Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh Introduction to Autonomous Mobile Robots (2004) Cited by 2758 Bibtex	EI
814	BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Y. Siegwart, ICCV (2011) Cited by 2159 Bibtex http://dx.doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126542	EI
813	PID vs LQ Control Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor Samir Bouabdallah, Andr�e Noth, Roland Siegwart IROS (2004) Cited by 1082 Bibtex http://dx.doi.org/10.1109/IROS.2004.1389776	EI
812	Backstepping and Sliding-mode Techniques Applied to an Indoor Micro Quadrotor Samir Bouabdallah, Roland Siegwart ICRA (2005) Cited by 918 Bibtex http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570447	EI



Vijay Kumar 是一名出色的印度机器人学家，现任美国宾夕法尼亚大学的计算机与信息科学教授，并于 2015 年成为该校机械学院的院长。

Vijay Kumar 获得俄亥俄州立大学机械工程博士学位后。他在 1998-2004 年间负责指导宾夕法尼亚大学的 GRASP 实验室，进行交叉学科的机器人及认知研究。目前，他的研究兴趣主要集中于多机器人系统和微型飞行器，最著名的研究成果在多机器人编队的控制和协调方面。

Vijay Kumar 于 2013 年成为 ASME（American Society of Mechanical Engineers，美国机械工程师学会）Fellow；2005 年，成为 IEEE Fellow；2013 年成为美国国家工程院院士。与此同时，他还是电气电子工程师学会机器人与自动化学报、自动化科学与工程学报的编委；美国机械工程师协会机械设计杂志、机械与机器人杂志编委；施普林格高级机器人集册（Springer Tracts in Advanced Robotics, STAR）杂志的编委。2018 年她获 ICRA IEEE RAS

先锋奖，他曾莅临 CCF-GAIR 大会做演讲，并作为 CCF-GAIR2016 最佳演讲嘉宾返场 2017 大会。

值得注意的是，这位在人工智能领域无人不知无人不晓的前沿科学家并没有因为他的 高深研究而大隐于市。相反，他在 2012 年 TED 上展示团队研究成果的演讲播放量已经超过 400 万，成为 TED 最受欢迎的视频；2015 年，他再次登上 TED 的舞台，带来了最新产品——可以自主飞行的无 GPS 机器人，向世人展示飞行机器人未来的发展方向。对于他在网络受到的广泛关注，他表现得尤为淡定：“罗马不是一天建成的。大家看到的可能是里程碑式的成果，但没有看到的是这背后可能有着 5 年、10 年或者更长时间的积累。我的意思是，可能大多数人对机器人领域研究的进展并不了解，当他们突然看到一项新的技术，他们会有让他们觉得眼前一亮的感觉。这就是技术的魅力，如果你一直从事这方面的研究，你可能会对所做的一切习以为常”。

下面选取了 Vijay Kumar 几篇有代表性的论文：

329

Modeling and control of formations of nonholonomic mobile robots

Jaydev P. Desai, James P. Ostrowski, **Vijay Kumar**

IEEE T. Robotics and Automation (2001)

Cited by 1159 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/70.976023>

EI

328

Controlling Formations of Multiple Mobile Robots

Jaydev P. Desai, James P. Ostrowski, **Vijay Kumar**

ICRA (1998)

Cited by 859 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.1998.680621>

EI

327

Robotic Grasping and Contact: A Review

Antonio Bicchi, **Vijay Kumar**

ICRA (2000)

Cited by 823 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844081>

EI

Minimum snap trajectory generation and control for quadrotors.

Daniel Mellinger, **Vijay Kumar**

ICRA (2011)

Cited by 642 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/ICRA.2011.5980409>

EI

● Wolfram Burgard



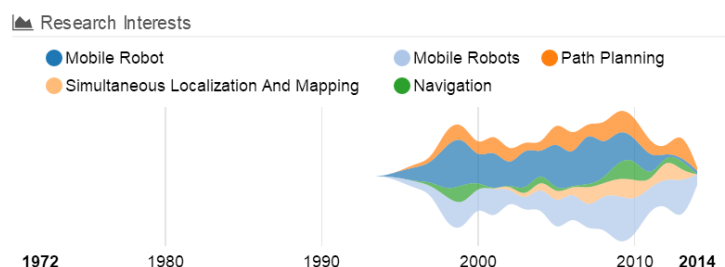
Wolfram Burgard

H 100 **A** 256.74 **S** 131.25 **c** 52683 **P** 595

professor

University of Freiburg

Mobile Robot Mobile Robots Path Planning Simultaneous Localization And Mapping Navigation
Computer Science Probability Robustness



Wolfram Burgard 是德国机器人专家，弗莱堡大学计算机科学教授，该校自动化智能系统实验室的负责人。

Wolfram Burgard 于 1991 年获得波恩大学的博士学位。从 1996 年开始，他就担任波恩大学自主移动机器人实验室的负责人，自此他的研究兴趣一直集中在人工智能和移动机器人两方面，尤其被人称道的是在即时定位与地图构建（Simultaneous Localization And Mapping, SLAM）方面对机器人学的贡献。这一技术的目的是赋予机器人在未知环境下从任意地点出发都能够通过运动过程中重复观测到的地图特征来定位自身位置和姿态的能力，并根据自身位置的变化构建地图，从而实现定位和地图构建同时进行。

Wolfram Burgard 因卓越的研究成果成为累计发表学术论文超过 250 篇的学界翘楚，还使他的学术地位受到了整个欧洲乃至世界的认可。2008 年，他成为 ECCAI（European Coordinating Committee for Artificial Intelligence，欧洲人工智能联合会）Fellow；2009 年，他成为 AAAI（Association for the Advancement of Artificial Intelligence，美国人工智能协会）Fellow，并于同年被授予德国科研最高奖——Gottfried Wilhelm Leibniz Prize（戈特弗里德·威廉·莱布尼茨奖）；目前，他担任 IEEE（Institute of Electrical and Electronics Engineers，电气和电子工程师协会）RAS（Robotics & Automation Society，机器人与自动化学会）主席。

2017 年，AAAI-17 经典论文奖颁发给了由他与下文即将介绍到的 Dieter Fox 及其他学者共同合著的《蒙特卡罗定位和推荐系统》（Monte Carlo Localization: Efficient Position Estimation for Mobile Robots）。这篇论文基于 1999 年所提出的蒙特卡罗定位并有所改进，对移动机器人的定位问题提出了独到的见解和解决方案。同时，这篇文章的价值也获得了 AAAI 大会的高度认可：“（它）开启了一个新的研究（子）领域，回答了一个长期困扰人们的问题，澄清了之前模糊的地方，做出了能够载入子领域历史的主要贡献”。

Wolfram Burgard 于 2018 年带领的弗莱堡大学团队获得 ICRA 最佳机器视觉论文，论文“Optimization Beyond the Convolution: Generalizing Spatial Relations with End-to-End Metric Learning”提出了一种基于距离度量学习以延展到空间关系的新型端到端方法。他的团队构造了一个神经网络，将物体的三维点云转化为度量空间，并只使用物体的几何模型描绘空间关系的相似性，其获奖理由是设计了一种物体间的空间关系，表征具有连续性及泛化性。

下面选取了 Wolfram Burgard 几篇有代表性的论文：

Robust Monte Carlo localization for mobile robots
Sebastian Thrun, Dieter Fox, Wolfram Burgard, Frank Dellaert
Artif. Intell. (2001)
Cited by 1991 Bibtext [http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702\(01\)00069-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00069-8)

EI

 **Monte Carlo Localization for Mobile Robots** EI
 Frank Dellaert, Dieter Fox, **Wolfram Burgard**, Sebastian Thrun
 ICRA (1999)
 Cited by 1612   <http://dx.doi.org/10.1109/ROBOT.1999.772544>

 **Monte Carlo localization: efficient position estimation for mobile robots** EI
 Dieter Fox, **Wolfram Burgard**, Frank Dellaert, Sebastian Thrun
 AAAI/IAAI (1999)
 Cited by 1229   <http://www.aaai.org/Library/AAAI/1999/aaai99-050.php>

A Probabilistic Approach to Concurrent Mapping and Localization for Mobile Robots EI
 Sebastian Thrun, **Wolfram Burgard**, Dieter Fox
 Auton. Robots (1998)
 Cited by 1183   <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1008806205438>

2.3 国内学者



图 6 中国智能机器人人才分布图

AMiner 基于论文数据整理了中国智能机器人人才库，该图为中国智能机器人人才分布图。在中国国内，智能机器人领域的研究学者主要分布在北京、哈尔滨、上海、广州等城市。其中，北京的研究学者数量大于其他城市，这主要是得益于北京市内诸如清华、北大的众多高校以及一些产业研究所的存在。

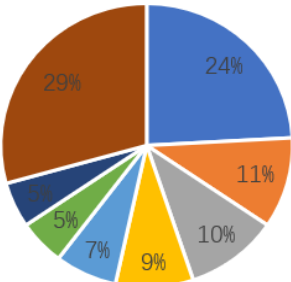


图 7 中国智能机器人人才城市迁出图

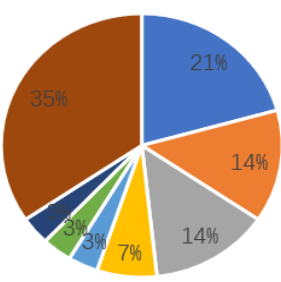
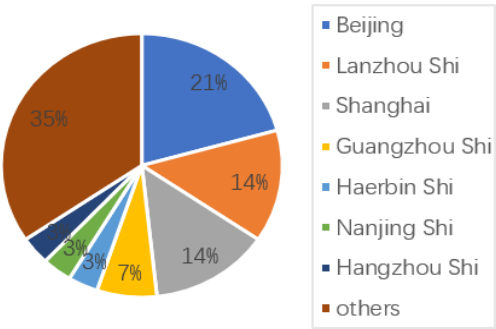


图 8 中国智能机器人人才城市迁入图

上图是中国智能机器人人才在国内各城市的流动图，由图 7 以看出，北京、哈尔滨、兰州、上海、南京等城市是人才迁出比较多的城市，同时他们也是人才迁入比较多的城市。综合看来，北京、上海、哈尔滨、兰州等发达城市人才流动较为频繁，兰州和哈尔滨由于有一些著名高校和发达的工业基地也形成了人才较为集中的中心。

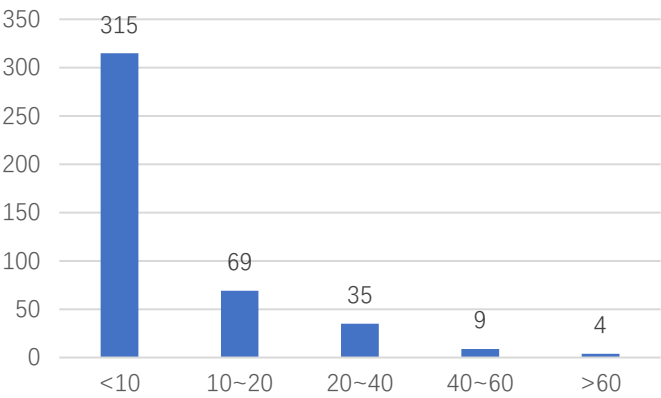
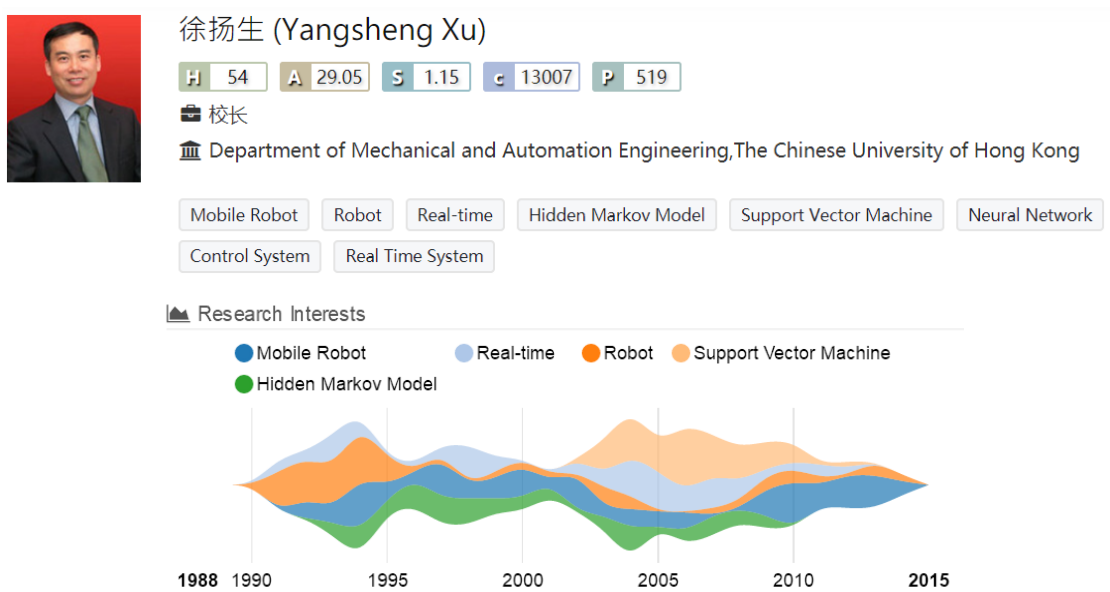


图 9 智能机器人领域中国学者 h-index 分布

智能机器人领域中国学者的 h-index 平均值是 9，而全球学者 h-index 的平均值是 24，可见中国学者在该领域的研究远低于世界平均水平。从 h-index 分布图来看，中国学者有的 h-index 主要分布在<10 的区间内，占中国学者总人数的 73%，h-index>40 的学者还有所欠缺。中国学者按 h-index 层级的升高而逐次递减，这说明中国智能机器人领域后备力量很充足。

下面根据 AMiner 提供的数据列举国内 9 位专家学者，排名不分先后。由于篇幅有限不能逐一罗列，如有疏漏请与编者联系。

● 徐扬生



徐扬生，中国空间机器与智能控制专家，中国工程院院士，现为香港中文大学深圳校区

首任校长。

徐扬生于 1989 年获美国宾夕法尼亚大学博士学位。1989 年至 1997 年间，他任美国卡内基梅隆大学计算机学院机器人研究所研究员。1997 年起，他任教于香港中文大学，担任机械与自动化工程学系系主任至 2004 年；2011 年开始担任香港中文大学副校长，并兼任中国科学院深圳先进技术研究院副院长。

徐扬生长期从事机器人与智能控制系统研究，在空间机器人的设计、控制及动力学研究，以及无重力地面试验设施的研制等方面做出了重要贡献。徐扬生的学术贡献包括对我国航天智能控制技术发展的推动，他提出并参与了有关航天智能系统的研制；同时，他对动态稳定系统的控制、人类控制策略的自动建模、穿戴式智能人机界面、以及全方位混合动力汽车等进行了深入研究和系统开发。他已发表论文 270 多篇，并有专著 3 部、编著 1 部。

徐扬生在专业领域享有较高的认可度：2001 年起，他被任为国际欧亚科学院院士；2003 年起，他当选 IEEE Fellow；2007 年起，他又当选国际宇航科学院通讯院士。为表彰徐扬生在科学和教育事业方面做出的开创性贡献，国际小行星命名委员会在 2016 年 11 月 14 日公布，把国际永久编号第 59425 号小行星 1999GJ5 命名为“徐扬生星”。

下面选取了徐扬生几篇有代表性的论文：

Design, Kinematics, and Control of a Multijoint Soft Inflatable Arm for Human-Safe Interaction.

Ronghuai Qi, Amir Khajepour, William W. Melek, Tin Lun Lam, Yangsheng Xu,

IEEE Trans. Robotics (2017)

Cited by 4 Bibtex

518

Heavy-Payload Omnidirectional Robot.

Long Han, Huihuan Qian, Kexin Xing, Yangsheng Xu,

RCAR (2016)

Bibtex

517

Vehicle 3-dimension measurement by monocular camera based on license plate.

Shuaijun Li, Xinyu Jiang, Huihuan Qian, Yangsheng Xu,

ROBIO (2016)

Bibtex

516

System design and control of a sail-based autonomous surface vehicle.

Tin Lun Lam, Huihuan Qian, Zhifeng Wang, Hongjie Chen, Yu Li, Yangsheng Xu,

ROBIO (2016)

● 方勇纯



方勇纯 (Yongchun Fang)

H18

A5.17

S0

c1751

P123

教授

Nankai University;南开大学教授

Mobile Robot

Visual Servo

Lyapunov Technique

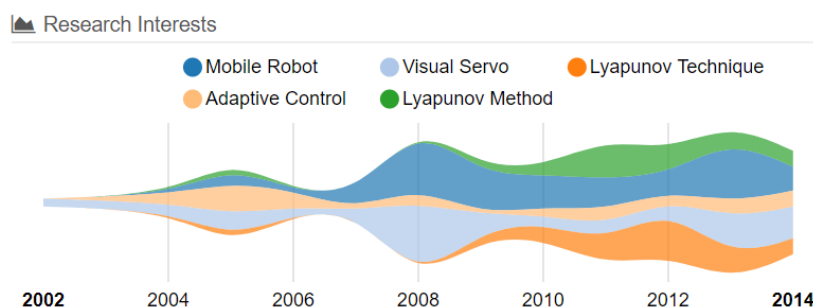
Adaptive Control

Lyapunov Method

Atomic-force-microscopy

Path Planning

Overhead Crane



方勇纯是“我国欠驱动机器人系统控制的先行者”，南开大学计算机与控制工程学院教授、副院长，国家杰出青年科学基金获得者。他还是 IEEE 高级会员、中国自动化学会理事、中国图象图形学学会常务理事、天津市图像图形学学会副理事长、中国自动化学会控制理论专业委员会委员、中国自动化学会青年工作委员会副主任委员等。

方勇纯于 1996 年 7 月毕业于浙江大学电机系，专业为工业电气自动化，获工学学士学位；1999 年 4 月毕业于浙江大学工业控制技术研究所，专业为工业过程控制，获工学硕士学位；2002 年 12 月毕业于美国克莱姆森大学 (Clemson University) 电机系，专业为机器人与非线性控制，获工学博士学位。2002 年 12 月至 2003 年 11 月在美国康乃尔大学机械与航天工程系 (Cornell University) 进行博士后研究。2003 年 11 月至今，任南开大学信息学院机器人与信息自动化研究所校特聘教授，博士生导师。

方勇纯和他的团队在欠驱动机器人领域有先进的研究理念和研究方法。欠驱动机器人系统希望以“少”控“多”，为此需要充分利用好系统内部各个状态之间的耦合关系。他们的主要贡献集中在基于能量的控制方法与轨迹规划技术。具体而言，他们在欠驱动系统控制中最早引入了机器人轨迹规划的思想，深入研究系统的运动特性，从中寻求最合适的有驱动状态的轨迹，即通过轨迹规划构造出驱动状态的理想轨迹，这是其中的关键之处。这种处理方法对于桥式吊车等欠驱动系统控制而言非常有效，在自动化领域认可度最高的 *Automatica* 及 *IEEE* 汇刊上发表了多篇高水平论文，得到了国内外学者的关注。经过工业实际应用表明：这方面的成果，为提升欠驱动机器人系统的暂态性能提供了很好的思路，同时也为实现一些欠驱动系统，如桥式吊车等的智能化操作奠定了很好的基础。这些研究成果在一定程度上填补了国内外相关技术的空白。

下面选取了方勇纯几篇有代表性的论文：

123
Homography-based visual servo regulation of mobile robots. SCOPUS EI WOS
Yongchun Fang, W. E. Dixon, D. M. Dawson, P. Chawda
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (2005)
Cited by 214 Bibtex <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16240777?report=xml&format=text>

122
A Motion Planning-Based Adaptive Control Method for an Underactuated Crane System WOS EI
Yongchun Fang, Bojun Ma, Pengcheng Wang, Xuebo Zhang
IEEE Trans. Contr. Sys. Techn. (2011)
Cited by 157 Bibtex <https://ieeexplore.ieee.org/document/5711693/>

121
A Novel Kinematic Coupling-Based Trajectory Planning Method for Overhead Cranes WOS EI
Ning Sun, Yongchun Fang, Yudong Zhang, Bojun Ma
Mechatronics, IEEE/ASME Transactions (2011)
Cited by 130 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&number=5704585>

120
New Energy Analytical Results for the Regulation of Underactuated Overhead Cranes: An End-Effector Motion-Based Approach WOS EI SCOPUS
Ning Sun, Yongchun Fang
IEEE Transactions on Industrial Electronics (2012)
Cited by 120 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/document/6129406/>

黄强



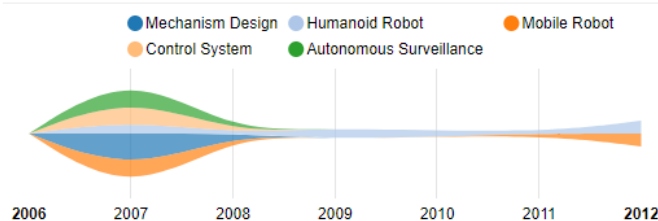
Qiang Huang

H 13 A 35.40 S 13.92 c 480 P 122

Intelligent robotics institute, school of mechatronical engineering, beijing institute of technology, 5 nandajie, zhongguancun, haidian, beijing, china

Human Motion Object Detection Inertial Sensors Vision System Path Planning Object Tracking
Mobile Robot Navigation Stereo Vision

Research Interests



黄强，现任北京理工大学机械工程系教授。主要研究方向为机器人。

黄强于 2000 年受聘“长江学者奖励计划”特聘教授，2010 年获得国家杰出青年科学基金资助，2013 年入选“国家高层次人才特支计划”首批国家科技创新领军人才。

黄强担任仿生机器人与系统教育部重点实验室主任，“十二五”“863 计划”先进制造领域专家组成员，教育部 111 计划“特种机动平台设计制造科学与技术学科创新引智基地”负责人，“仿生、微小型无人系统”国防科技创新团队负责人。同时担任先进机器人(Advanced Robotics)国际杂志编委，中国自动化协会机器人委员会副主任等社会兼职。承担自然科学基金、国防基础科研项目等 10 余项。研究成果获得省部级科技进步奖三等奖 1 项，在国内外重要学术刊物上发表学术论文 150 余篇，其中被 SCI 和 EI 收录 85 篇，获机器人国际著名会议优秀论文奖 6 项，授权发明专利 28 项。

下面选取了黄强几篇有代表性的论文：

122

Cooperation of dynamic patterns and sensory reflex for humanoid walking

SCOPUS
WOS
EI

Gunag Wang, **Qiang Huang**, Juhong Geng, Hongbin Deng, Kejie Li
ICRA (2003)
Cited by 30 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&number=1241964>

121

Design of humanoid complicated dynamic motion based on human motion capture.

EI
SCOPUS
WOS

Qiang Huang, Zhaoqin Peng, Weimin Zhang, Lige Zhang, Kejie Li
IROS (2005)
Cited by 29 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/IROS.2005.1545060>

120

Flexible foot design for a humanoid robot

SCOPUS
WOS

Jianxi Li, **Qiang Huang**, Weimin Zhang, Zhangguo Yu, Kejie Li
Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2008 (2008)
Cited by 27 Bibtex http://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/56449102838

119

Humanoid walk control with feedforward dynamic pattern and feedback sensory reflection

WOS
EI

Qiang Huang, Kejie Li, Yoshihiko Nakamura
CIRA (2001)
Cited by 25 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&number=1013168>

李杨民



李杨民 (Yangmin Li)

H 42

A 40.75

S 0.74

c 6067

P 325

Professor

Faculty of Science and Technology, University of Macau

Finite Element Analysis

Parallel Manipulator

Kinematics

Mobile Robots

Mathematical Model

Force

Motion Control

Actuators

Research Interests

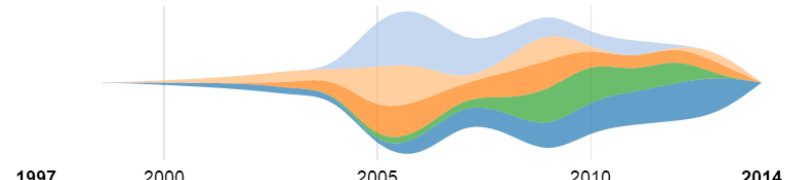
Finite Element Analysis

Parallel Manipulator

Kinematics

Mobile Robots

Mathematical Model



李杨民，教授，博士生导师，主要从事机器人控制及机电一体化的研究。现任香港理工大学教授。同时，他还是北京理工大学珠海学院客座教授，中国科学院沈阳自动化研究所海外知名学者。

李杨民于 1994 年获得天津大学工学博士学位后，赴美国普度大学进行博士后研究，并于 1997 年开始在澳门大学科技学院机电工程系任教；2010 年起任天津市高等学校特聘讲座教授，并入选天津市千人计划。

李杨民的研究兴趣主要集中在机械电子工程、机械制造及其自动化以及控制理论与控制工程方向，具体包括机器人与自动化微纳米操作、智能控制及多体系统动力学等。他的研究成果极为丰富：在申请成功或参加完成的 32 项研究课题中，包括国家自然科学基金海外及港澳学者合作研究基金项目、中国 863 高科技项目及国家教委博士点基金项目等多个重

点项目；曾获得《International Journal of Control, Automation and Systems》（IJCAS）贡献奖等；在国际和国内的专业期刊杂志和会议上共发表 260 多篇学术论文，其中 SCI 收录 50 篇，EI 收录 160 篇。此外，他在 2004 年就成为 IEEE Senior Member；2010 年还曾担任中国科技部的海外评审专家。

李杨民于 2013 年在汤森路透集团公布的期刊论文被引用次数最高的科研人员初选名单中作为澳门大学科技学院学术科研主任荣誉上榜，这反映出他在机器人、自动化和控制领域的国际知名度和认可度。

下面选取了李杨民几篇有代表性的论文：

- Kinematic analysis of a 3-PRS parallel manipulator EI SCOPUS WOS
Yangmin Li, Qingsong Xu
Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (2007)
Cited by 207 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2006.04.007>
- A novel design and analysis of a 2-DOF compliant parallel micromanipulator for nanomanipulation EI
Yangmin Li, Qingsong Xu
IEEE T. Automation Science and Engineering (2006)
Cited by 131 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/document/1650476/>
- Analytical modeling, optimization and testing of a compound bridge-type compliant displacement amplifier SCOPUS WOS EI
Qingsong Xu, Yangmin Li
Mechanism and Machine Theory (2011)
Cited by 110 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2010.09.007>
- Kinematics and inverse dynamics analysis for a general 3-PRS spatial parallel mechanism SCOPUS WOS EI
Yangmin Li, Qingsong Xu
Robotica (2005)
Cited by 106 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1017/S0263574704000797>

● 罗仁权



罗仁权，被誉为“台湾机器人之父”。现为台湾大学电机工程学系特聘教授、台湾研发管理经理人协会理事长、台湾机器人学会荣誉理事长、友嘉实业集团技术长。

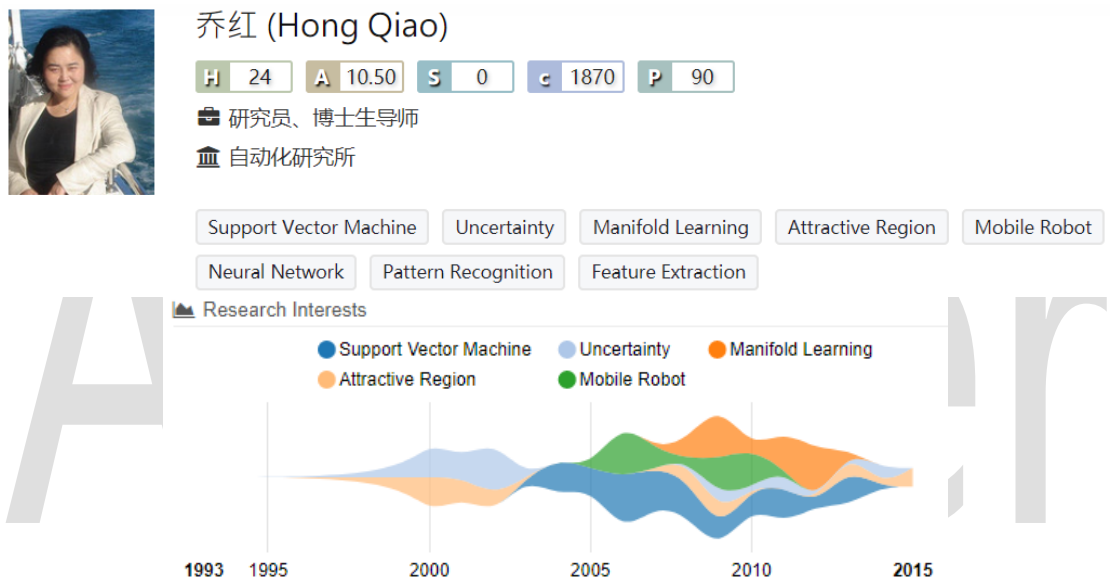
罗仁权于 1973 年、1975 年先后毕业于逢甲大学机械工程学系与逢甲大学自动控制研究所。退伍后在逢甲大学徐佳铭教授推荐下负笈海外进入德国柏林工业大学深造。1979 年取得德国国家工程师执照与博士学位。他曾担任日本东京大学讲座教授、美国北卡州立大学电机计算机工程学系终身职正教授、智能机器人研究中心主任、中正大学工学院教授暨院长与校长等职务。现任 IEEE 工业信息期刊总主编，是台湾大学讲座教授，IEEE 国际工业电子协会杰出讲师，欧盟产业发展指导委员会委员。

罗仁权的研究领域包括智能型感测控制机器人系统、智能型多样传感器融合与整合系

统、计算机视觉伺服回授控制系统、智能型光机电整合系统等，并在该专业领域发表 450 余篇学术科技论文、获 20 多项国际专利。

罗仁权提出“让机器人优质、平价、智慧”。智慧型机器人是一种多功能的多轴全自动或半自动机械装置，它可透过程式化动作执行各种生产活动、提供服务或具备与人互动的功能。智慧自动化产业具有以下四个方面的特征。第一，人性化介面。第二，精微化制造技术。第三，智能型制造。第四，新材料/再生型材料。台湾智慧型自动化要素主要包括四个方面：讯号感测是设备的一种视觉感测以及磨损感测，是一种开关式、自动化的过程；可进行资料处理及零件定位，进行磨损分析；决策判断，可进行远端诊断与预测，并可进行随机堆叠零件的辨识；动作控制，可进行换刀或者参数调整，实行弹性化组装。

● 乔红



乔红，中国科学院自动化研究所研究员、博士生导师，新世纪百千万人才工程国家级人选、中国科学院“百人计划”研究员，中科院自动化研究所机器人中心副主任、机器人理论与应用组组长。

乔红于 1995 年获得英国 De Montfort 大学工学博士学位，并于 2004 年放弃曼彻斯特大学的永久教职归国，担任智能科学与技术联合实验室副主任。2005 年起，担任《自动化学报》的副主编；2013 年当选全球 IEEE RAS 管理委员会委员，是大陆学者首次当选该委员会委员。

乔红与她的团队长期从事机器人的“手-眼-脑”研究，包括：工业机器人操作与控制（手）、机器人视觉（眼）、生物启发式与类脑智能机器人（脑）等。三个方面研究互补开展，层层递进，它们的融合提高了机器人操作精度和智能水平。

乔红的研究成果被美国媒体所报道，并将“无传感器吸引域”成为“乔的概念”；前 IEEE 机器人和自动化学会主席、IEEE Fellow Toshio Fukuda 更称赞乔红“通过多年的努力，她提出并应用了环境里吸引域的概念，这是三维机器人装配中一个突破性的工作”；“乔博士是

这个领域国际领先的专家”。

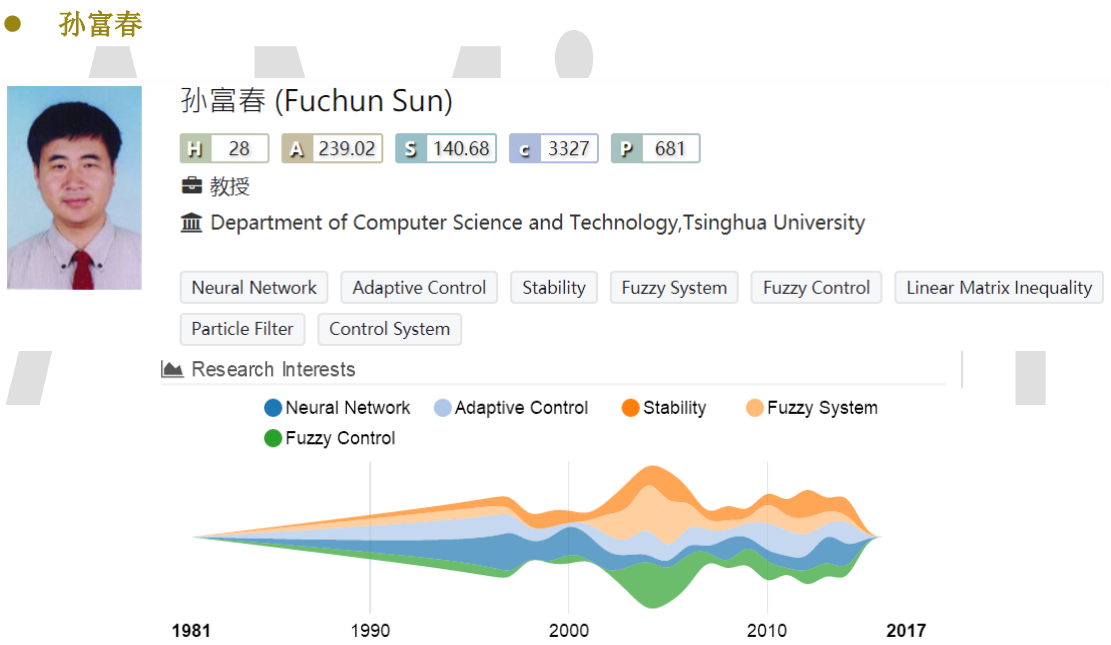
下面选取了乔红几篇有代表性的论文：

On stabilization of bilinear uncertain time-delay stochastic systems with Markovian jumping parameters WOS EI
Zidong Wang, Hong Qiao, K. J. Burnham
IEEE Trans. Automat. Contr. (2002)
Cited by 254 Bibtex <https://ieeexplore.ieee.org/document/995042/>

Robust filtering for bilinear uncertain stochastic discrete-time systems EI
Zidong Wang, Hong Qiao
IEEE Transactions on Signal Processing (2002)
Cited by 83 Bibtex <http://dx.doi.org/10.1109/78.984737>

A reference model approach to stability analysis of neural networks. EI SCOPUS WOS
Hong Qiao, Jigen Peng, Z. -B. Xu, Bo Zhang
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (2003)
Cited by 152 Bibtex <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18238244?report=xml&format=text>

Nonlinear measures: a new approach to exponential stability analysis for Hopfield-type neural networks. SCOPUS EI WOS
Hong Qiao, Jigen Peng, Zong-Ben Xu
IEEE Transactions on Neural Networks (2001)
Cited by 100 Bibtex <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18244390?report=xml&format=text>



孙富春教授是清华大学计算机科学与技术系教授、博士生导师，国家 863 计划专家组成员，是国际刊物《IEEE Trans. On Neural Networks》、《Soft Computing》和《International Journal of Computational Intelligence Systems》编委，IEEECSS（Control System Society，控制系统学会）国际会议编委会编委、IEEECSS 智能控制技术委员会委员。

孙富春于 1998 年获得清华大学计算机科学与技术系工学博士学位，之后留校从事博士后研究。2000 年起在计算机科学与技术系工作，主要研究方向为智能控制、机器人与飞行器的导航与控制，网络控制系统，人工认知系统的信息感知和处理。工作期间，孙富春在国内外重要刊物发表或录用论文 120 余篇，其中在 IEE、IEEE 汇刊、Automatica 等国际重要刊物发表论文 50 余篇，现有 40 余篇论文收入 SCI，SCI 期刊他人引用 100 余次，100 多篇论文收入 EI。

孙富春面对中国当前机器人产业规模保持快速增长但存在低水平、重复建设的问题，认为机器人的发展离不开自主知识产权和自主创新的能力。创新是机器人未来发展的源泉。尽管我国拥有足够的资金和大量优秀的人才，但是在机器人自主品牌中能够研制高端产品的却为数不多，仍然主要依赖进口。孙富春认为，要解决这一问题，首先要联合各大研究机构、集中资源；其次要广泛引进国外合作，向国外学习；第三要将眼光放长远，推广新一代机器人的应用。他尤其主张，要把握机器人技术未来创新的趋势，主要发展服务机器人，以迎合即将到来的广大市场需求。通过研发服务机器人，不仅能够带动我国机器人产业转型，还能够助力 GDP 增长、为我国争取到在这一产业世界竞争格局中换道超车的机会。

下面选取了孙富春几篇有代表性的论文：

Composite neural dynamic surface control of a class of uncertain nonlinear systems in strict-feedback form. EI WOS
Bin Xu, Zhongke Shi, Chenguang Yang, Fuchun Sun,
IEEE T. Cybernetics (2014)
Cited by 149 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6783745>

679
Dynamic surface control of constrained hypersonic flight models with parameter estimation and actuator compensation SCOPUS WOS
Bin Xu, Xiyuan Huang, Danwei Wang, **Fuchun Sun**
Asian Journal of Control (2014)
Cited by 147 Bibtex http://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/84880918925

678
Adaptive discrete-time controller design with neural network for hypersonic flight vehicle via back-stepping EI SCOPUS WOS
Bin Xu, **Fuchun Sun**, Chenguang Yang, Daoxiang Gao, Jianxin Ren
Int. J. Control (2011)
Cited by 111 Bibtex http://api.elsevier.com/content/abstract/scopus_id/80053531752

Adaptive Kriging controller design for hypersonic flight vehicle via back-stepping EI SCOPUS WOS
Bin Xu, Fuchun Sun, Huaping Liu, JianXin Ren,
IET Control Theory and Applications (2012)
Cited by 72 Bibtex <https://ieeexplore.ieee.org/document/6165469/>

王田苗



王田苗 (Tianmiao Wang)

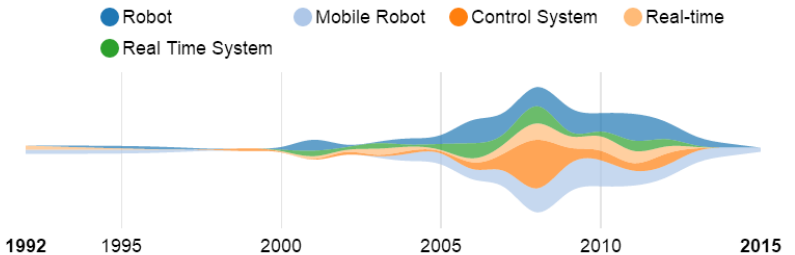
H 24 A 41.42 S 7.53 c 2738 p 570

教授

北京航空航天大学机械工程及自动化学院机器人研究所

Robot Mobile Robot Control System Real-time Real Time System Motion Control Surgery
Kalman Filter

Research Interests



王田苗教授是北京航空航天大学机器人研究所教授、博导，国家教育部特聘教授“长江学者”，“新世纪百千万人才工程”国家级人选，曾任国家 863 计划“十五”机器人主题专家组组长、“十一五”先进制造技术领域专家组组长及中国制造业信息化专家组副组长、“十

二五”服务机器人重点项目专家组组长，现任北航机械工程及自动化学院院长、IEEE Fellow。

王田苗教授于 1990 年获得西北工业大学博士学位，于 1997 年在国内率先开展了医疗外科机器人研究，成功应用于上千例临床应用；2013 年参加了南极科考队，在南极中山站进行了恶劣环境下机器人漫游者实验。近年来主要从事嵌入式智能感知与控制、医疗外科机器人及特种服务机器人等方面理论技术和应用研究。

王田苗教授于 2017 年参与的由北京航空航天大学课题组牵头、与哈佛大学 Wood 教授实验室联合科研团队取得的最新研究成果——仿生鲫鱼软体吸盘机器人登上国际顶级期刊 Science 的封面报道，成为我国在《Science Robotics》上发表的首篇论文。

下面选取了王田苗几篇有代表性的论文：

568

Remote surgery case: robot-assisted teleneurosurgery

SCOPUS WOS EI

Cai Meng, **Tianmiao Wang**, Wusheng Chou, Sheng Luan, Yuru Zhang, Zengmin Tian,

ICRA (2004)

Cited by 113 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=1307250>

567

Sambot: A Self-Assembly Modular Robot System

SCOPUS WOS EI

Hongxing Wei, Youdong Chen, Jindong Tan, **Tianmiao Wang**

Mechatronics, IEEE/ASME Transactions (2010)

Cited by 88 Bibtex <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abstractAuthors.jsp?tp=&arnumber=5634125>

565

仿壁虎机器人研究综述

王田苗, 孟恩, 裴葆青, 戴振东

Robot (2007)

Cited by 62 Bibtex

564

Remote-controlled vascular interventional surgery robot.

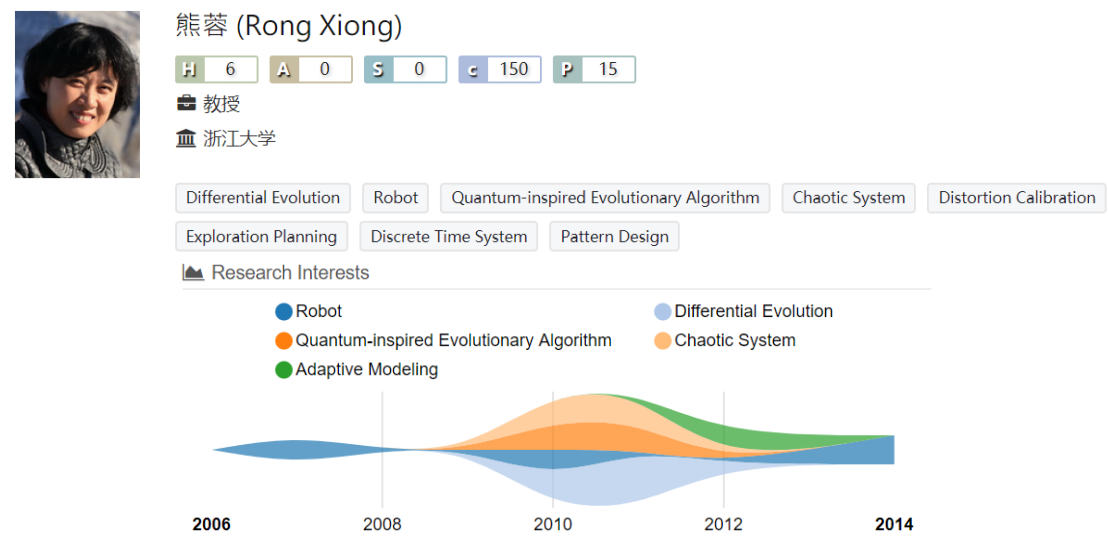
SCOPUS WOS

Tianmiao Wang, Dapeng Zhang, Liu Da

The international journal of medical robotics + computer assisted surgery : MRCAS (2010)

Cited by 61 Bibtex <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20235338?report=xml&format=text>

● 熊蓉



熊蓉是浙江大学智能系统与控制研究所机器人实验室主任，浙江大学机器人研究中心副主任，ZJU-UTS 机器人联合研究中心联执主任，浙江大学机器人科教实践基地负责人，浙

江省新世纪 151 人才工程第二层次培养人员。

熊蓉于 1997 年硕士毕业于浙江大学计算机系，同年 4 月，熊蓉硕士毕业后进入浙江大学控制系工作，承担浙江大学工业控制技术国家重点实验室的日常运行和维护工作，同时还担任本科生班主任，承担计算机文化等课程的教学；于 2009 年博士毕业于浙江大学控制系。现兼任“International Journal of Advanced Robotic Systems”(SCI 期刊)编委会成员、RoboCup2013 Symposium Co-Chair、中国自动化学会机器人竞赛委员会常务委员。

熊蓉提出的四轮全方位移动机器人的建模和运动规划方法，极大地提高了机器人在窄小环境中运动的速度和准确度；基于数据与特征最佳相合的同时定位与地图构建方法，为后续的服务机器人环境认知与定位方面的研究奠定了理论基础。熊蓉还主持研制了多套具有国内领先、国际先进水平的机器人系统，包括仿真足球机器人系统、救援仿真系统、60cm 小型双足仿人机器人系统等。其中 60cm 小型双足仿人机器人，步行速度可达 1.08km/h，具有自主视觉认知、决策协作等能力，在全国机器人大赛上屡次夺冠，并成为中国大陆唯一进入该类机器人国际前八的机器人系统。

下面选取了熊蓉几篇有代表性的论文：

15

Hash快速属性约简算法

刘勇, 熊蓉, 褚健

Chinese Journal of Computers (2009)

Cited by 49 Bibtex

14

四轮全方位移动机器人的建模和最优控制

熊蓉, 张翊, 褚健, 何臻峰, 吴永海

Control Theory & Applications (2006)

Cited by 36 Bibtex

13

基于点线相合的机器人增量式地图构建

熊蓉, 褚健, 吴俊

Control Theory & Applications (2007)

Cited by 12 Bibtex

12

复杂动态环境下基于侧滑力的局部路径规划

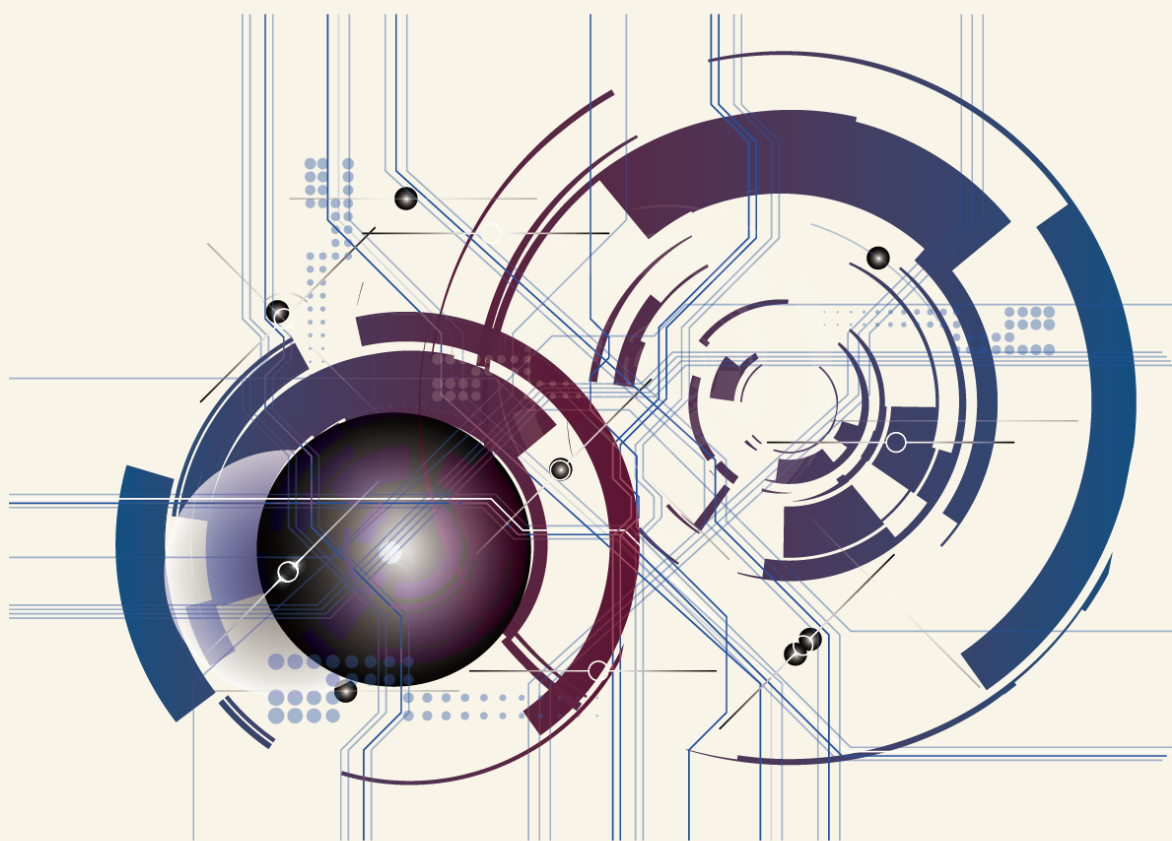
江万里, 熊蓉, 褚健

Journal of Zhejiang University(Engineering Science) (2007)

Cited by 9 Bibtex

3 technology

技术篇



3 技术篇

机器人学是专门研究机器人工程的学科，其最基础的研究内容是机器人的路径规划控制与人机交互。人工智能是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门系统科学。机器人的研究推动了许多人工智能思想的发展，在人工智能构建世界状态的模型和描述世界状态变化的过程中起到了至关重要的作用。举例来说，关于机器人动作规划生成和规划监督执行等问题的研究，推动了人工智能这一学科中有关 **Robot Planning** 规划方法的发展。机器人的智能化的发展更是人工智能的研究成果运用的一个重要方面。

机器人学与人工智能的发展存在着千丝万缕的关系，可以说二者的发展是休戚与共的。人工智能的主要研究方向有语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等，这些研究方向对于机器人智能化的实践有着重要的意义。其中，机器翻译、智能控制、专家系统及语言和图像理解不仅是人工智能需要研究的重点，同时也是智能机器人得以实现必须攻克的技术难点。人工智能实际上是将人的智能赋予给其他工具，而机器人则是为这样的智能化提供了一个很好的容器与载体。

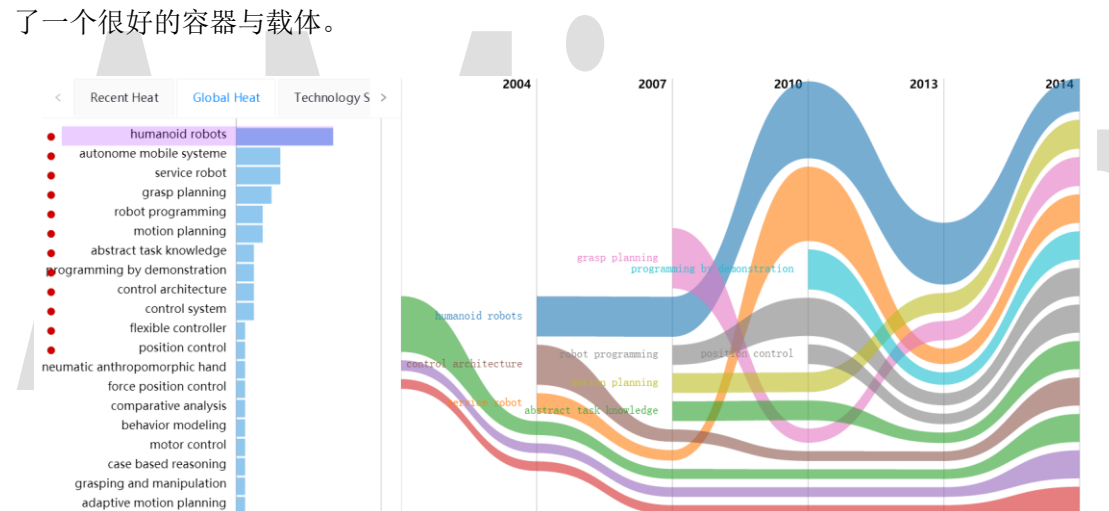


图 10 机器人全球研究趋势

Robotics 的发展主要围绕 mobile robot、humanoid robot、human-robot interaction 等细分领域的研究展开，其中 mobile robot 和 humanoid robot 一直是大多数研究者的主攻方向，近期学者对 AI 关键技术 human-robot interaction、path planning、control system 和 reinforcement learning 的研究愈发关注。由上图我们可以直观的看到机器人技术研究的趋势变化并感受到机器人技术的更新换代之快。下面，我们将对目前机器人的核心技术感知与学习、规划与决策、动力学与控制、人机交互等进行逐一介绍。

3.1 感知与学习 (Perception and Learning)

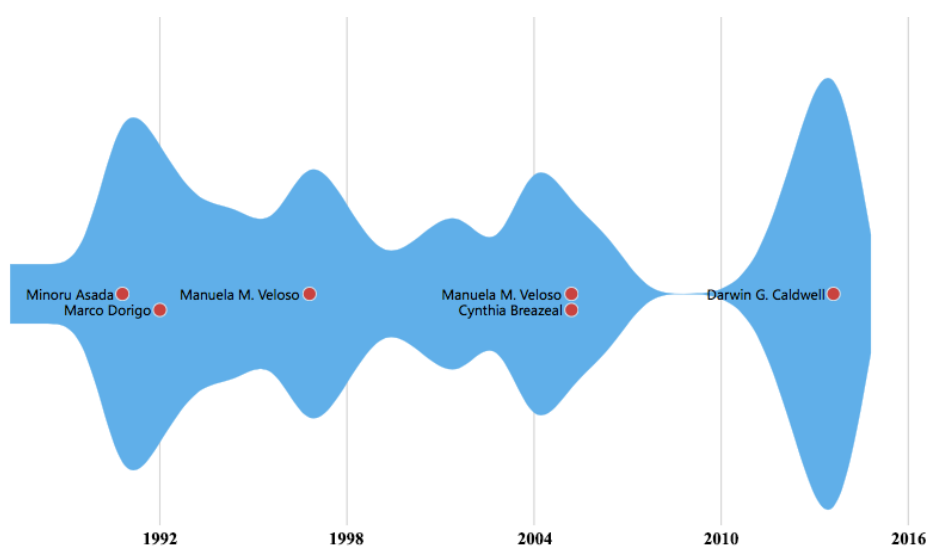


图 11 1990–2016 年感知与学习研究趋势

对于感知与学习的研究是从 1990 年开始的，Manuela M.Veloso、Minoru Asada、Marco Dorigo、Cynthia Breazeal 等学者奠定了该研究的发展。目前，后起之秀 Darwin G.Caldwell 教授积极投入相关领域的研究。

智能机器人感知与学习技术是目前机器人领域研究的热点，旨在充分利用人工智能现有的成果，把人工智能的现有成果和机器人有机的结合，从环境感知、知识获取与推理、自主认知和学习等角度开展机器人智能发育的研究，使机器人通过不断的学习和自身积累，能够自我提升。

感知是机器人与人、机器人与环境、以及机器人之间进行交互的基础。简单地定义“感知”即对周围动态环境的意识。对感知的研究主要有以下目的：首先是对机器人地图构建功能的补充，对环境的重新构建，以满足实时更新所处位置地理信息的需要；其次是帮助智能机器人对周遭物体进行探测、识别和追踪，以做到能够对日常小型物体近乎完美的区分；最后是使机器人能够观察人类、理解人类行动，最终达到机器人能够与人类友好共存的条件。从以上标准可以看出，感知技术作为不可或缺的一部分，与智能机器人的地图构建、运动等功能实现都息息相关。具体来讲，机器人的感知通常需要借助各种传感器的帮助来代替人类的感知，如视觉、触觉、听觉以及动感等。

从感知向认知的跨越一度是区分“第二代”机器人与“第三代”机器人的鸿沟，而认知机器人的定义中最核心之处就在于学习行为的出现。作为机器学习和机器人学的交叉领域，机器人的学习将允许机器人通过学习算法获取新技能或适应其环境的技术。通过学习，机器人可能展示的技能包括运动技能、交互技能以及语言技能等；而这种学习既可以通过自主自我探索实现，也可以通过人类老师的指导来实现。随着人工智能的快速发展，机器人学习的进步也是日新月异。其中，美国加州伯克利大学的人工智能团队一直处于研究前沿。2018 年 4 月 11 日，伯克利人工智能研究院发布一篇文章，提出一个强化学习框架并基于此打造出一款可以自学功夫的虚拟机器人，目前已有相对研究成果。这说明机器人学习技术在未来不

仅能够融入人们的现实生活，还将可能在虚拟游戏世界中大放异彩。

3.2 规划与决策 (Planning and Decision)

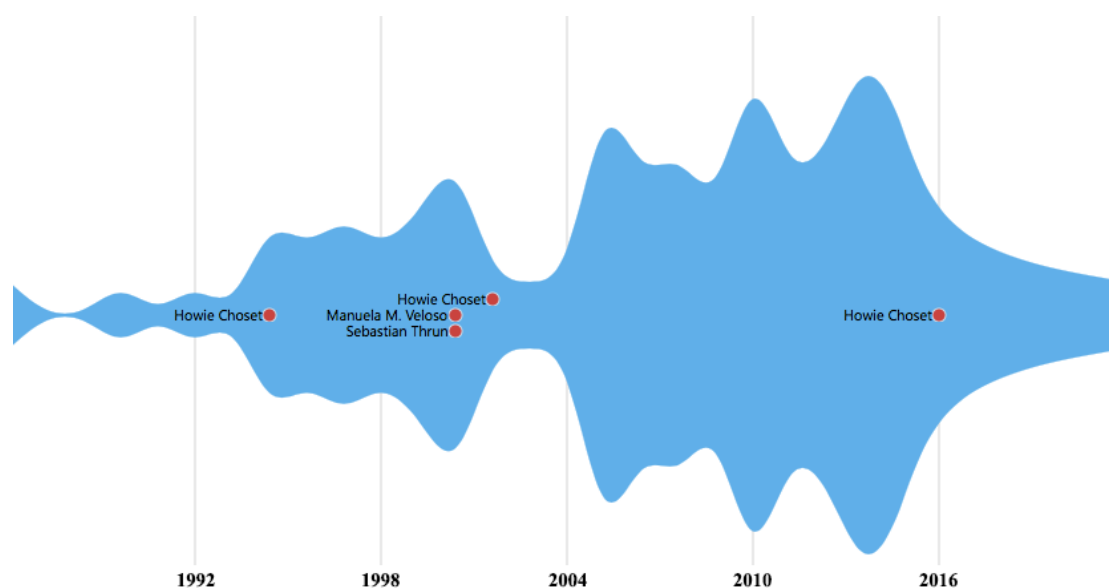


图 12 1990–2016 年路径规划研究趋势

路径规划从 1990 年开始发展，自 2005 年起进入发展的高速期，大量的学者以极大的热情投入该领域的研究，主要有 Howie Choset、Manuela M.Veloso、Sebastian Thrun 等人。其中，Howie Choset 教授至今仍致力于路径规划领域的研究，并创造出历史性的成果。

而路径规划仅仅是机器人学中规划与决策技术之下的一个分支。事实上，规划与决策技术对于机器人系统中自主性的实现至关重要。换句话说，这两项要素是决定机器人在无人操控的状态下通过算法得出满足特定约束条件的最优决策能否成功的关键。尽管这类技术最常见的用武之地在于无人驾驶汽车的导航问题以及自主飞行器或航海探测器的线路规划问题，但其实它的影响更为广泛，从路径规划到运动规划，再到任务规划都离不开这一技术的作用；而这类技术的应用范围也不止探测器或智能汽车，它还可以应用在人形机器人、移动操作平台甚至多机器人系统等处，在数字动画角色模拟、人工智能电子游戏、建筑设计、机器人手术以及生物分子研究中都能够发挥作用。具体来说，目前实现规划与决策仍然主要依靠应用算法，其中著名的理论包括人工势场法等。近两年，来自瑞典皇家理工学院的机器人学研究团队提出了新的观点：运用形式化验证将机器人的行为树模型化，由此能够在实现规划和决策的过程中获得两大优势：首先它能够以一种用户友好却谨慎细致的方式捕捉到复杂的机器人任务信息，其次它还能够为机器人决策的正确性提供可证实的保证。

3.3 动力学与控制 (Dynamics and Control)

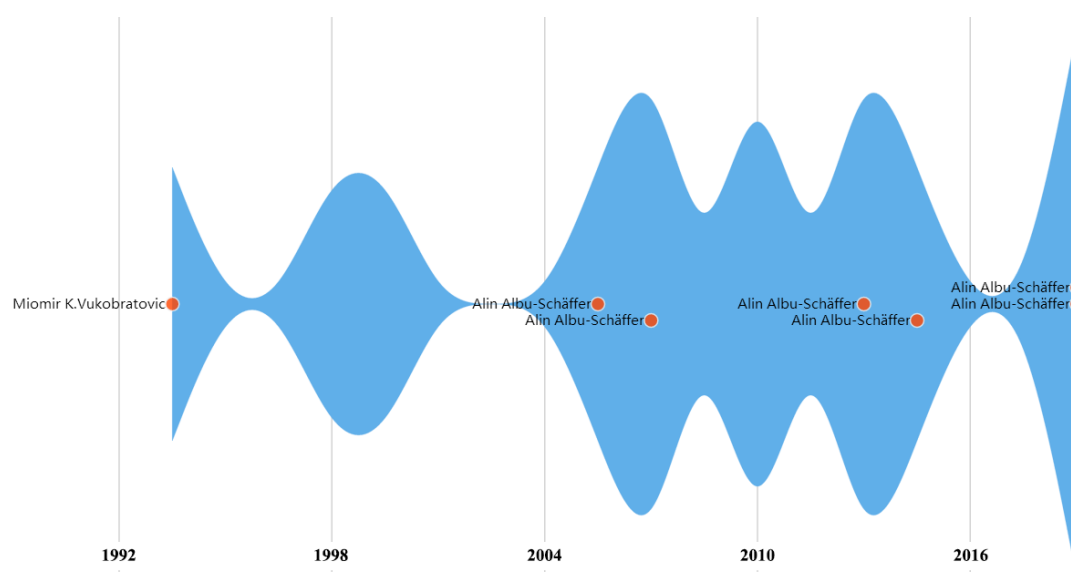


图 13 1990–2016 年动力学与控制研究趋势

机器人动力学是对机器人结构的力和运动之间关系与平衡进行研究的学科，主要通过分析机器人的动力学特性来建造模型、研究算法以决定机器人处理对物体的动态响应方式。而机器人控制技术，指的是为使机器人完成各种任务和动作所执行的各种控制手段，既包括各种硬件系统，又包括各种软件系统。

自 20 世纪 70 年代以来，随着电子技术与计算机科学的发展，计算机运算能力大大提高而成本不断下降，这就使得人们越来越重视发展各种考虑机器人动力学模型的计算机实时控制方案，以充分发挥出为完成复杂任务而设计得日益精密从而也越加昂贵的机器人机械结构的潜力。因此，在机器人研究中，控制系统的设计已显得越来越重要，成为提高机器人性能的关键因素。

最早的机器人采用顺序控制方式，而随着计算机的发展，现已通过计算机系统来实现机电装置的功能，并采用示教再现的控制方式。目前机器人控制技术的发展越来越智能化，离线编程、任务级语言、多传感器信息融合、智能行为控制等新技术都可以应用到机器人控制中来。作为影响机器人性能的关键部分，机器人控制系统在一定程度上制约着机器人技术的发展。然而传统的机器人控制系统存在结构封闭、功能固定、系统柔性差、可重构性差、缺乏运行时再配置机制、组件的开发和整合限制在某种语言上等问题。如今出现了各种基于网络、PC、人脸识别、实时控制等技术的机器人控制系统，精度高、功能全、稳定性好，并逐渐向标准化、模块化、智能化方向发展。

智能化的控制系统为提高机器人的学习能力也奠定了基础。2016 年，伯克利大学的人工智能团队利用深度学习和强化学习策略向控制软件提供即时视觉和传感反馈，使一个名为 BRETT (Berkeley Robot for the Elimination of Tedious Tasks 的缩写) 的机器人成功通过学习来提升自己的家务技能。这种人工智能与机器人学交叉运用的结果使得机器人能够将一个任务中获得的经验推广到另一个任务中，从而提高机器人的学习能力，使其能够掌握更多技能。

3.4 人机交互（Interaction）

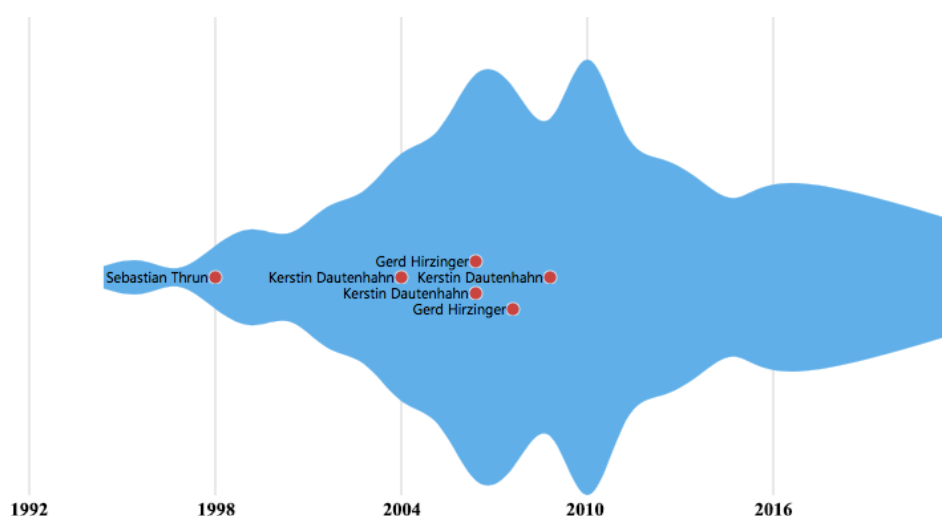


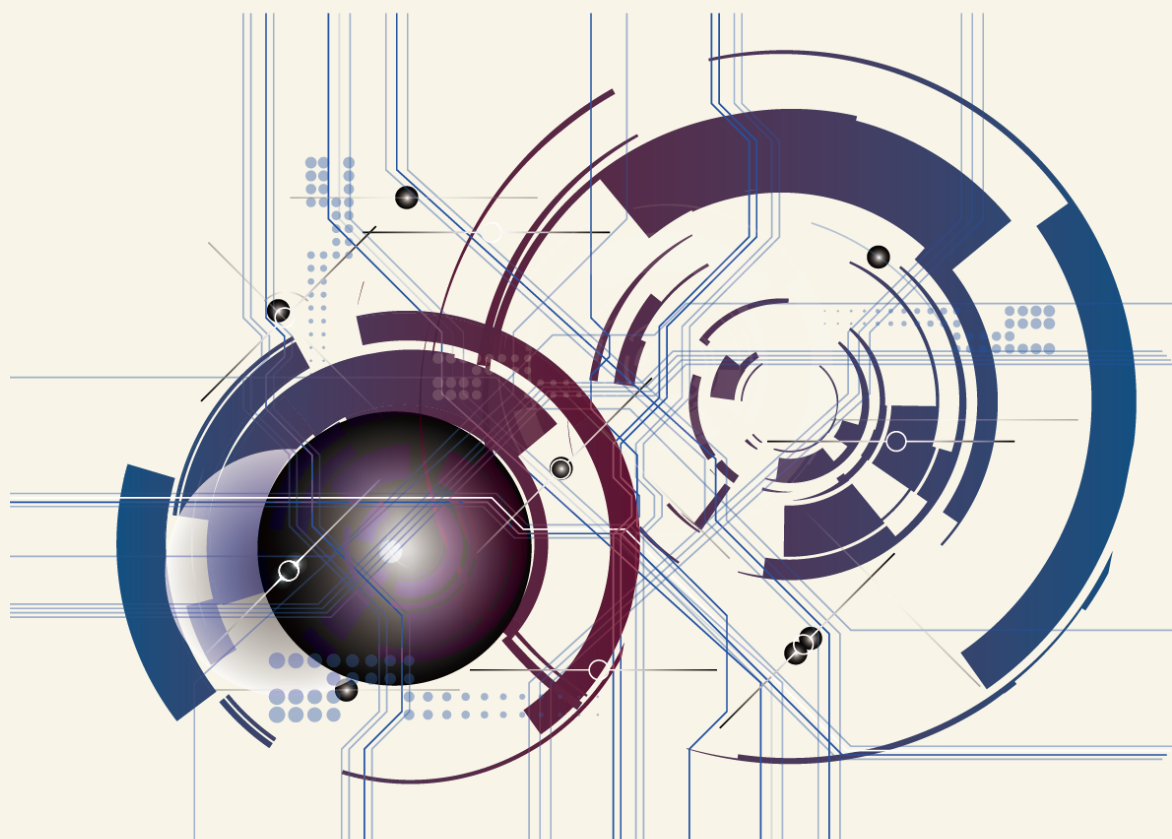
图 14 1990-2016 年人机交互发展趋势

人机交互即人与机器人相互作用的研究，其研究目的是开发合适的算法并指导机器人设计，以使人与机器人之间更自然、高效地共处。最早开始研究人机交互的出发点是学者们希望能够探讨如何才能减轻人类操纵计算机时的疲劳感，由此开启了人机工程学的先河。1969 年可谓是人机界面学发展史的里程碑，这一年在英国剑桥大学召开了第一届人机系统国际大会，同年第一份专业杂志 IJMMS（International Journal of Mechatronics and Manufacturing Systems，国际人机研究）创刊。到了 20 世纪 80 年代初期，学界先后出版了六本专著，从理论和实践两个方面推动了人机交互的发展。20 世纪 90 年代后期以来，随着高速处理芯片、多媒体技术及互联网的飞速发展与普及，人机交互向着智能化的方向发展，这一技术关注的重点也由计算机的反馈转向以人为中心。值得一提的是，2018 年 ACM 新增一本杂志 Interactions，其主题是人机交互和交互设计，每两个月出版一次，在全球范围内流通，这也说明人机交互技术研究的不断深入并越来越得到重视。

人机交互技术大致可以分为四个阶段：基本交互、图形式交互、语音式交互和感应式交互（体感交互）。基本交互仍然停留在最原始的状态，人与机器的关系仅仅是人工手动输入与机器输出的交互状态，比如早期的按钮式电话、打字机与键盘；图形交互时期是随着电脑的出现而开始的，以显示屏、鼠标问世为标志，在触屏技术成熟期达到巅峰；语音交互最开始是单向的，即语音识别，如科大讯飞的语音识别系统，后来微软的 Cortana、小冰，苹果的 Siri 以及 Google 公司的 Google Now 突破了单向交互的壁垒，实现了人机双向语音对话；最后，随着当前机器人的发展越来越强调交互形式的智能化，体感交互将成为未来交互发展的新方向。体感交互是直接从人的姿势的识别来完成人于机器的互动，主要是通过摄像系统模拟建立三维的世界，同时感应出人与设备之间的距离与物体的大小。目前，索尼发明的触控型投影仪已经实现了体感交互。未来，这种交互方式将成为先前各种技术的结合，包括即时动态捕捉、图像识别、语音识别、VR 等技术，最终衍生出多样化的交互形式，而机器人有望在未来成为体感交互的载体。

4 transducer

传感器技术



4 传感器技术

随着工业机器人技术的不断发展，AGV（Automated Guided Vehicle，移动机器人）作为基础搬运工具正在从物流领域逐渐深入到汽车制造、机械加工、家电生产、微电子制造、卷烟等多个行业。目前，AGV 已经成为物流装备中自动化水平最高的产品，是物流自动化系统中最具有柔性化的一个环节。而成就移动机器人的核心技术之一，正是传感器。

传感器是一种检测装置，能够感受被测量的信息并按照一定规律变换成可用输出信号，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。是机器人获取信息的主要部分，类似于人的“五官”。随着机器人智能化程度的不断提高，无论是遥控机器人、交互机器人还是自主机器人，都需要越来越多地借助传感器感知自身和外部环境的各种参数变化，进而为控制和决策系统做出适当的响应提供数据参考。传感器技术的应用，使现代机器人具备了类人感知能力，为机器人高精度智能化的工作提供了基础。本节将基于视觉、触觉、听觉和雷达对传感器技术在机器人上的应用状况进行阐述。

4.1 视觉（Vision）

RIA（Robotic Industries Association，美国机器人工业协会）对机器视觉定义为：机器视觉是通过光学的装置和非接触的传感器自动地接收和处理一个真实物体的图像，以获得所需信息或用于控制机器人运动的装置。简而言之，机器视觉就是利用机器代替人眼进行测量和判断。在机器视觉系统中，传感器通常以光纤开关、接近开关等形式出现，用以判断被测对象的位置和状态，告知图像传感器进行正确采集。

尽管功能与人类视觉相仿，机器视觉却拥有其超越人类的独特之处：首先是精确性，人眼受物理条件限制，视觉距离和准确程度都无法与精度能够达到千分之一英寸的机器相比；其次是重复性，机器视觉可以达到无数次重复观测之后仍然保持精确的水平，而人类视觉则会因疲劳感产生误差；第三是高速度，机器视觉更擅长捕捉高速运动的物体，这一点对工业机器人在流水线上的应用尤其有利；最后是低成本，机器视觉在工业生产中对人类的替代可以实现连续工作，因而极大地提高了工作效率，也降低了劳力成本。

具体而言，视觉传感器是指通过对摄像机拍摄到的图像进行图像处理，来计算对象物的特征量（面积、重心、长度、位置等），并输出数据和判断结果的传感器。视觉传感器具有从一整幅图像捕获光线的数以千计的像素。图像的清晰和细腻程度通常用分辨率来衡量，以像素数量表示。因此，无论距离目标数米或数厘米远，传感器都能“看到”十分细腻的目标图像。在捕获图像之后，视觉传感器还可以将收到的信息与内存中的基准图像进行比较，以做出分析。作为提取环境特征最多的信息源，视觉传感器是机器视觉系统当之无愧的核心。

同样，视觉传感器也是机器人中最重要的传感器之一。最早的视觉传感器出现于 20 世纪 50 年代后期，于 60 年代开始首先尝试处理积木世界，随后逐渐发展到处理桌子、椅子、台灯等室内景物，直至能够处理户外的现实世界。20 世纪 70 年代后，具备实用性的机器人视觉系统开始出现，被用于集成电路生产、精密电子产品装配、饮料罐装箱场合的检验及定位等。直到今天，在农业、工业、医学等领域，机器人视觉因其非接触、速度快、精度高、

现场抗干扰能力强等突出优点而备受重视，得到了广泛应用。

传统的图像传感器可分为 CCD 和 CMOS 两类。随着集成电路工艺的发展，CMOS 以其体积小、工作电压低、性能稳定等优点逐渐在上世纪 90 年代占据机械式图像传感器的市场主流。但这种传感器却存在明显的缺陷：由于拍摄方式的问题，现有的图像处理需要逐帧处理，造成惊人计算量，而提高帧率则会带来更大的计算量。这一缺点在拍摄高速运动的物体时尤其明显。而近几年出现的 DVS（Dynamic Vision Sensors，动态视觉传感器）则从视网膜的工作原理中得到启发，通过仿视网膜神经系统的列阵结构大幅减少不必要的数据和计算工作、提高输出速度，保证即使是高速运动的物体也能被清晰拍摄并实时播放。未来，这种动态视觉传感器的应用将能极大改善飞行器机器人的性能，为自主飞行机器人的发展提供新的可能。

4.2 触觉 (Tactile)

触觉传感器是用于机器人模仿触觉功能的传感器。触觉是机器人获取环境信息的一种仅次于视觉的重要知觉形式，可直接测量对象和环境的多种性质特征。触觉感知的主要任务是为获取对象与环境信息，以及为完成某种任务而对机器人与对象、环境相互作用时的一系列物理特征量进行检测。广义来看，触觉包括接触觉、压觉、力觉、滑觉和冷热觉等，狭义时则专指机械手与对象接触面上的力感觉。

机器人触觉传感器的主要功能分为两种：第一是检测功能，包括对操作对象的状态、机械手与操作对象的接触状态以及操作对象的物理性质进行检测；第二种是识别功能，即在检测的基础上提取操作对象的形状、大小和刚度等特征加以分类和目标识别。

对于机器人触觉传感器的研究稍晚于机器人的出现，但在发展历程上却远远落后，与视觉传感器的进步相比尤显不足。从 20 世纪 70 年代开始，机器人研究已经成为学界热点，但此时对触觉传感器的研究仅限于一些基本课题，触觉传感器的开发数量也非常稀少；到 80 年代，这一技术进入研究、发展的快速增长期，对传感器的设计、原理和制作方法都进行了大量研究，主攻方向也从传感器本身转向适应工业自动化的需求；90 年代至今，触觉传感技术的研究继续保持着快速增长，并开始向多元化发展。进入新世纪，科学家们借鉴仿生学原理，参照人类皮肤对环境的敏锐感知改进触觉感应器，不断发展其性能，甚至令机器人触觉感应器获得了“电子皮肤”的称号。与人类皮肤不同的是，现在的触觉感应器不仅能够将湿度、温度和力度等感觉用定量的方式表达出来，还可以帮助伤残者获得失去的感知能力。

近些年，机器人触觉感应器的研究屡结硕果，在各个领域的应用都得到了极大的拓展。2002 年，美国科研人员在内窥镜手术的导管顶部安装触觉传感器，可检测疾病组织的刚度，根据组织柔软度施加合适的力度，保证手术操作的安全；2008 年，日本 Kazuto Takashima 等人设计了压电三维力触觉传感器，将其安装在机器人灵巧手指端，并建立了肝脏模拟界面，外科医生可以通过对机器人灵巧手的控制，感受肝脏病变部位的信息，进行封闭式手术；2009 年，德国菲劳恩霍夫制造技术和应用材料研究院的马库斯-梅瓦尔研制出新型触觉系统的章鱼水下机器人，可精确地感知障碍物状况，可以自动完成海底环境的勘测工作；2016 年，韩国首尔大学开发的新型毛状电子皮肤，能使机器人快速分辨出呼吸引起的轻微空气波动或者微弱地心跳震动，未来将可以广泛应用于假肢、心率监视器以及其他机器人服务中。

2018 年，麻省理工的 Cheetah（猎豹）机器人已经进化到了第三代。比起前辈们，Cheetah3 最耀眼的升级，可能就是不太需要摄像头了，直接利用触觉信息完成动作。不管是走在凹凸不平的地面，还是爬上布满施工残余的楼梯，它都可以悠然地闭着眼睛

清华大学智能技术与系统国家重点实验室和河北清华发展研究院联合成立的人工智能与机器人创新中心在负责人孙富春教授的带领下对机器人触觉感知领域进行了深入研究。目前该团队正在研发的产品包括：两指或三指多传感机械手，可以按要求同时配置红外传感器、角度传感器、触觉传感器等，并可安装在 UR 机械臂、Baxter 机器人等配合使用；灵巧手及触觉传感器，通过线驱动实现多种手势及多种手型，同时还配有多阵列触觉传感器和多感知指尖装置；数据手套，可以获得比传统动作捕捉系统更加丰富的测量信息，同时还可覆盖所有手臂关节，以稳定获得人体手臂及手部各关节的速度及姿态信息；灵巧操作系统，结合人工智能技术与机器人技术开发而成，可以应用于生产线或物流线上的自动质量检验及智能分拣等。

4.3 听觉 (Auditory)

机器人的听觉系统是一种方便、智能化的机器人与外界系统交互的方式。尽管听觉定位精度逊色于视觉，但其仍然具有独特的价值。由于声音信号的衍射性能，听觉具有全向性，相较于视觉、激光等其他传感信号而言不需要直线视野，因而对于需要在有视野遮蔽障碍物或光线不足甚至黑暗环境下工作的机器人来说非常重要。

听觉传感器是一种可以检测、测量并显示声音波形的传感器，应用广泛。对机器人来说，其作用相当于一个话筒（麦克风），用来接收声波、显示声音的振动图像。在某些环境下，机器人需要测知声音的音调和响度、区分左右声源甚至需要判断声源的大致方位；有些条件下，机器人需要与人类进行语音交流。因此，听觉传感器的存在能够使机器人更好地完成这些任务。

得益于传感器热潮，声音传感器在上世纪 80 年代被日本、美国和俄罗斯等国先后重视并大力发展，从最初的单一话筒功能逐渐演变为现在的多功能集合体，甚至能够测量噪声强度、配合各种采集器和计算机一起使用。这期间，声音传感器的精度也得到了很大提高。目前市场流行的精密传声器动态范围高达 178dB，极大地拓展了其服务范围，为这一技术应用于机器人听觉系统奠定了良好的基础。

根据需要，一般 RA (Robot Audition, 机器人听觉) 的功能包括声源信号的定位与分离、自动语音识别和说话识别等。其中，涉及到听觉传感器的部分主要包括两点，首先是包括声源定位和距离测定等在内的声音测量定位，其次则是语音识别，就是利用听觉传感器解决“听得到”和“听得懂”的问题。

在声音测量定位方面，自 1995 年 Irie 第一次将声源定位技术用于智能机器人以来，经过二十多年的发展，目前已经取得了很多重大成果。其中，近几年随着多传感器机器人的兴起，机器人的视听觉交叉感知技术研究成为新的热门。这一技术能够感知机器人周围环境最直观的表现形式，而且能够同时克服视觉受光照干扰和听觉受到噪声干扰的缺陷，利用两项信息互相补充完善机器人的空间定位能力。2017 年 12 月，国内首创的视听机器人在深圳正

式发布，标志着家庭服务机器人的智能化迈向了新的高度。



图 15 视听机器人

在语音识别方面，1952 年贝尔实验室研制出了世界上第一个能识别 10 个英文数字发音的实验系统，后来这一成就被认为是人工智能发展的重要里程碑。1960 年，英国研究团队研究出第一个计算机语音识别系统随后，语音识别听写机的应用在 1997 年被美国新闻界评为计算机发展十件大事之一。在近二十年，语音识别技术取得了显著进步，逐渐由实验室走向市场。2009 年以来，借助机器学习领域深度学习研究的深入，语音识别技术更是得到了突飞猛进的跨越式发展。2016 年，多家国际科技巨头公司在语音识别准确率上取得突破：IBM 的 Watson 会话错词率已经低至 6.9%，微软的人工是能团队则报告他们的语音识别系统错词率为 5.9%；而国内百度 Deep Speech 的短语识别错词率也降至 3.7%。目前语音识别技术仍然停留在“识别智能”这一基础阶段，未来语音识别技术在具体场景的应用还需要攻克很多难关。以这一技术在机器人领域的应用为例，要实现机器人与人的语音交互自然化、个性化以及场景化，能够任意打断且不影响机器人理解用户需求，最终进行精准的内容推荐和服务，显然还有很长的路要走。

4.4 激光雷达 (Lidar)

环境感知是移动机器人研究的关键技术之一。机器人周围的环境信息可以用来导航、避障和执行特定的任务。获取这些信息的传感器既需要足够大的视场来覆盖整个工作区，又需要较高的采集速率以保证在运动的环境中能够提供实时的信息。

近年来，激光雷达在移动机器人导航中的应用日益增多。这主要是由于基于激光的距离测量技术具有很多优点，特别是其具有较高的精度，通过二维或三维地扫描激光束或光平面，激光雷达能够以较高的频率提供大量的、准确的距离信息。与其它距离传感器相比，激光雷达能够同时考虑精度要求和速度要求，这一点特别适用于移动机器人领域。此外，激光雷达不仅可以在有环境光的情况下工作，也可以在黑暗中工作，而且在黑暗中测量效果更好。

激光雷达早前更多应用在军事领域，随着技术的发展和成本的降低，目前为止机器人、无人机、无人驾驶等领域也成为了激光雷达的重要应用领域。和视觉的方式一样，激光雷达的属性也有一定的短板——这类传感器无法在雨雾天气工作，而且激光雷达在真正意义上还没开始大规模量产，因此成本较高。

扫地机器人是目前激光雷达应用最广泛的领域，激光雷达配合 SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) 算法，可以让扫地机器人在房间里实现智能清扫，清扫的过程中

绘制地图，实时传输到手机 APP，就算用户不在家，也可以通过手机 APP 查看清扫情况，以及安排其他地方清扫。



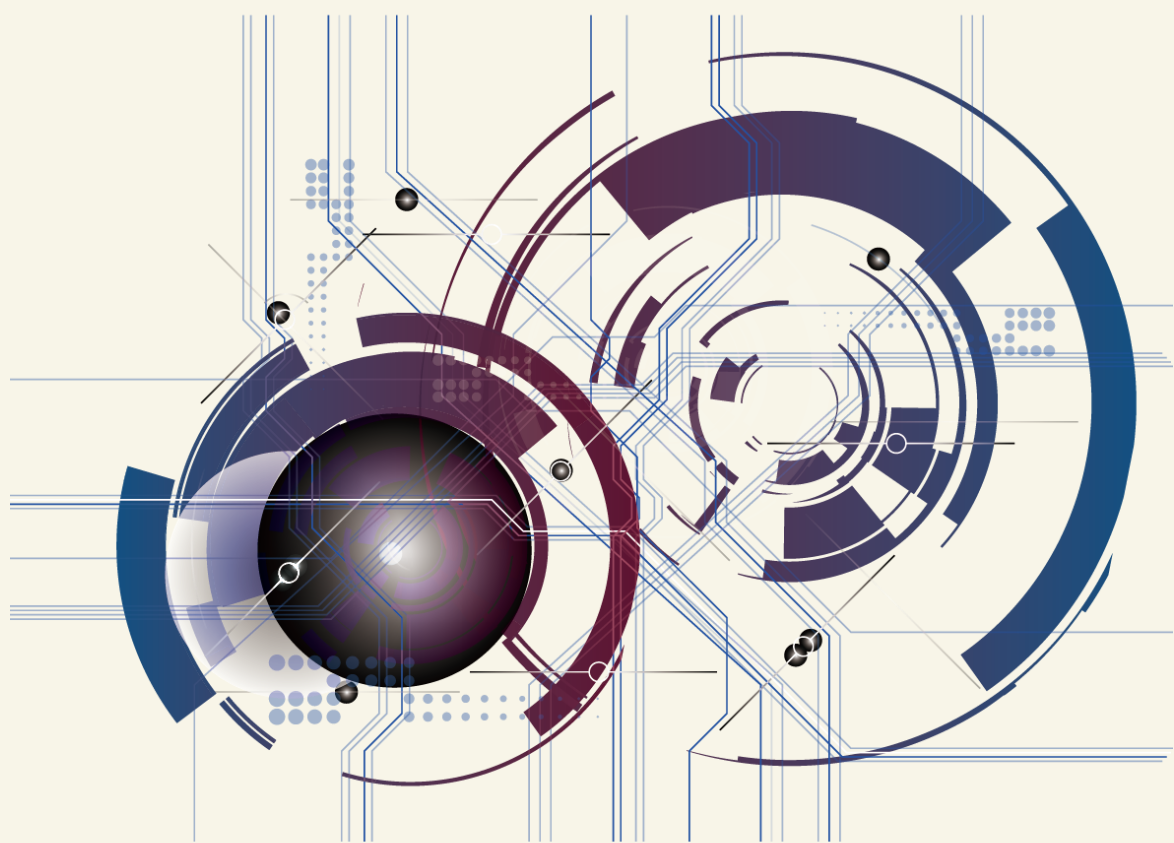
图 16 运用激光雷达的扫地机器人

遇到一些特别复杂的环境，扫地机器人可以用视觉感应技术解决。双目视觉也有导航、绘制地图的功能。因为双目视觉采用的是图像采集技术，可以把这些数据放到高速相机里，经过数字算法，让视觉识别周围的环境，以及物体，从而去判断路径以及里程，甚至自主导航。总之，激光雷达与双目视觉结合，可以让扫地机器人更加智能。

AMiner

5 application

应用篇



5 应用篇

5.1 无人驾驶

无人驾驶，即无需通过驾驶者进行干预便可独自由计算机完成正常、安全形行驶的一整套系统，其特点简单而言是安全稳定以及能进行自动泊车功能。无人驾驶汽车是通过车载传感系统感知道路环境，自动规划行车路线并控制车辆到达预定目标的智能汽车。无人驾驶汽车利用车载传感器来感知车辆周围环境，并根据感知所获得的道路、车辆位置和障碍物信息，控制车辆的转向和速度，从而使车辆能够安全、可靠地在道路上行驶，是集自动控制、体系结构、人工智能、视觉计算等众多技术于一体，是计算机科学、模式识别和智能控制技术高度发展的产物，也是衡量一个国家科研实力和工业水平的一个重要标志，在国防和国民经济领域具有广阔的应用前景。尤其是在公共轨道交通，无人驾驶能够更加智能科学地安排发车班次以及节省人力成本，使得乘客获得更高效的出行体验。德国科隆经济研究所（Cologne Institute for Economic Research）的分析显示，2010 年至 2017 年 7 月间，无人驾驶领域所申请的数量共有 5839 项。其中前十大专利持有者中，六个都是德国传统汽车厂商。

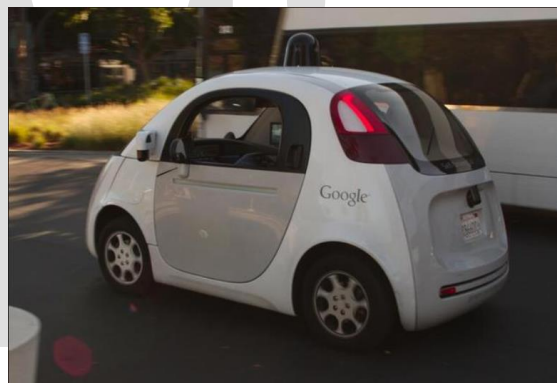


图 17 Google 无人驾驶汽车

5.2 室内服务

室内服务机器人是为人类服务的特种机器人，能够代替人完成家庭服务工作。它包括行进装置、感知装置、接收装置、发送装置、控制装置、执行装置、存储装置、交互装置等；所述感知装置将在家庭居住环境中感知到的信息传送给控制装置，控制装置指令执行装置做出响应，并进行防盗监测、安全检查、清洁卫生、物品搬运、家电控制、家庭娱乐、病况监视、儿童教育、报时催醒及家用统计等工作。IFR 的统计表明，2020 年这一市场将快速增长至 69 亿美元，2016-2020 年的平均增速高达 27.9%。

从区域的发展来看，日本作为世界上最早研究机器人并且开发的技术最为发达的国家之一，在家用机器人的产出上具有惊人的成果。数据表明，日本 2010 年家庭智能机器人产量就已达到 4 万台，约占全世界 50%。

服务机器人 ASIMO 是本田公司研发的一款机器人。ASIMO 是一款类人程度非常高的人形机器人，不仅可以和人手拉手走路，同时可以进行日常的物品搬运工作。得益于强大的中枢系统，ASIMO 可以对自身所具有的功能进行综合性的控制，可以自主地进行接待、向

导及递送等工作。同时，因为在机构设计和控制能力上的提升，ASIMO 的移动速度达到了 6km/h，可以进行奔跑与来回行走。强大的视觉传感器与运手腕力度传感器则让 ASIMO 可根据实际情况交接实物。以日常家庭的物品整理为例，ASIMO 可以根据所持的物品判断物品的重量与高度，将物品放置到合理的地方，并根据不同的环境条件进行挑战。手腕传感器的存在则让 ASIMO 可以调整左右手腕的推力，保持与推车之间的合适距离，一边前进一边推车。当推车遇到障碍时，ASIMO 还会自行减速并改变行进方向，直线或者转弯推车。



图 18 本田公司服务机器人 ASIMO

2017 年底，日本索尼公司宣布推出其最新款机器狗 Aibo，并已于 2018 年 1 月正式发售。索尼公司表示，这款机器狗可“与家庭成员形成情感纽带，同时为他们带来爱、情感以及抚养和照顾一个同伴的快乐”。以广泛灵活的动作和积极的反应为特征，这款机器狗还会随着其与主人越来越亲密的关系、发展出自己独特的个性，可以说是一种能够自主进化的机器狗。新版 Aibo 机器狗自带超小型 1 和 2 轴执行器配置，使得 Aibo 紧凑的身体能沿着 22 个轴自由活动。



图 19 索尼公司机器狗 Aibo

相较于近邻日本，中国在家用机器人的产业化运用上则稍显落后。由于缺乏支柱性产业与具有影响力品牌的支撑，中国的家用机器人市场产业尚未形成规模，在全球市场上仅占有 5%左右的份额。由于中国本土的电机、驱动器、减速器等关键部件性能较差，中国的家用机器人主要靠进口外国部件组装而成。另一方面，中国家用机器人市场的低迷与城市化水平发展程度不够高是相关的。由于国内区域性收入差距较大，再加上传统文化的影响，我国人民尚未形成使用家用机器人的习惯，甚至对于在国外普及率较高的清洁机器人的使用也较少。我国的清洁方式还停留在吸尘器或者人工清理的方式上。虽然目前我国家用机器人的年销售额已经超过了 10 亿，但是巨大的区域收入差距造成了家用机器人的渗透率的巨大差距。

以清洁机器人为例，沿海城市的产品渗透率为 5%，内地城市才刚达到 0.4%。除了巨大的内部区域差距之外，与国际之间的差距更为明显：相比之下，美国家庭清洁机器人的渗透率已经达到 16%。当前社会，人们越来越希望能够从简单家务劳动中释放出来，而家政服务劳力的价格越来越高，因而家用机器人的需求有其刚性驱动。随着城市化水平与消费水平的不断提升，家用机器人将成为我国一个爆发成长的市场。

5.3 物流运输

目前，我国物流业正努力从劳动密集型向技术密集型转变，由传统模式向现代化、智能化升级，各种先进技术和装备的应用和普及也随之而来。受益于电子商务高速发展带来物流业务量大幅攀升以及土地、人力成本的快速上涨，智能化的物流装备在节省仓库面积、提高物流效率等方面的优势日渐突出。当下，具备搬运、码垛、分拣等功能的智能机器人，已成为物流行业当中的一大热点。

应用于物流中的机器人发展到今天，大致可分为三代。第一代物流机器人主要是以传送带及相关机械为主的设备，为机器人原型，实现从人工化向自动化的转变。第二代机器人主要是以 AGV 为代表的设备，通过自主移动的小车实现搬运等功能。以亚马逊 Kiva 机器人为代表，依托 AGV 小车技术，但实质上仍然需要人工完成拣选货物操作，效率仍有待提升。第三代机器人在第二代基础上，增加了替换人工的机械手、机械臂、视觉系统和智能系统，提供更友好的人机交互界面，并且与现有物流管理系统对接更完善，具有更高的执行效率和准确性。例如 Fetch & Freight 的机器人产品，实现了从自动化到智能化的转变，由移动车体、机械臂和机械手组成，具备高度的自主性，能够完成多种功能如物体识别、抓取、分拣及运输等。

随着物流智能化的发展，各大电商巨头也紧跟潮流，频频出招。目前亚马逊的几十个仓库里，有超过 15000 个 Kiva 机器人在辛勤工作。亚马逊因此也被称为全球最高效的仓库。近期，阿里巴巴菜鸟 ET 物流实验室研发的末端配送机器人小 G 诞生了。通过自主感知描绘地图，根据复杂的场景变化及时重建地图，并自己规划多个包裹的最优派送顺序和路线，机器人小 G 能智能避障，将包裹送到收件人手中。每个包裹都有单独的身份码，扫描一下就可以签收，寄件人还可以在手机上随时查看包裹定位。而若有人错拿或者多拿包裹，小 G 会自动报警。同时，阿里还自主研发的造价百万的智能机器人“曹操”，可承重 50 公斤，速度达 2 米/秒，可迅速定位商品位置，以最优拣货路径拣货后，自动把货物送到打包台，在天猫超市的配送过程中发挥着日益重要的作用。今年 6 月，京东的仓储运输机器人飞马、搬运机器人地狼 AGV 在亚洲一号仓库正式亮相，其中分拣机器人、智能叉车 AGV、机械臂等大量的智能物流机器人协同作业组成完整的智慧物流场景。

可以预见，智能机器人的日益普及和高速发展，必将引爆一场仓储物流智能化的变革，甚至是整个物流行业、制造业乃至生产和生活方方面面的智能化大革命。但对于目前国内企业而言，要避免在低端产品层面的竞争，还需要在智能机器人产品的研发方面投入更多力量。

5.4 极端环境

机器人可以代替人类在极端环境中工作，比如极寒环境、深海环境、核污染地域、极端

天气等。

探测机器人要能保证探测的范围足够广，对复杂的外形环境要有很好的适应性和通过性，具有稳定高速高效的行驶能力，并有一定的避障能力、爬坡越障能力和耐磨损能力等。在现有的技术条件下，人类要实现长时间载人太空航行，还是一件比较困难的事情。如果用机器人来代替人类，长时间太空旅行并登陆其他星球、进行环境探测，并将所得数据传回地球，深入研究各天体的地质特性和所处的空间环境，探索行星系统的形成和演化历史，将会大大方便人类的探索。

据国外媒体报道，航天局和私人航天公司都正在致力于将人类送达更遥远的太空区域。但是近期一系列研究表明，人工智能机器人可能是未来太空探索的引领者。美国宇航局已经赞成派遣智能机器人探测搜寻宇宙空间，科学家也认为在轨道上的宇航员通过远程监控能够操控机器人系统实现虚拟探索，同时，一些人甚至表示，人工智能探测器几乎能独立完成太空任务。美国宇航局喷气推进实验室科学家指出，未来一些智能探测器将很快被投入使用，大多数情况下它们都能独立操作。伴随着太空任务挑战性不断增强，探测器应当能够在没有人为干涉的情况下完成工作，甚至懂得适应环境变化。目前，已经有相关研究报告在《科学机器人技术》杂志上发表。

近日，在我国第 34 次南极科考中，由中国科学院沈阳自动化研究所自主研发的探冰机器人成功执行了“南极埃默里冰架地形勘测”项目地面勘察现场试验任务，这是我国地面机器人首次投入极地考察冰盖探路应用。该探冰机器人是安全有效的冰盖未知区域安全路线探测技术装备，将在未来建立中山站至埃默里冰架冰上安全运输路线中发挥重要作用。

埃默里冰架是南极三大冰架之一，它既是东南极冰盖物质流向海洋的主要通道又是内陆冰盖发生变化的关键性“指示器”，在南极及全球变化研究领域具有十分重要的地位。探冰机器人针对南极天气条件和环境特点进行专门设计。采用全地形底盘悬挂，具有轮式和履带两种驱动形式，控制速度可达 20 公里/小时。采用燃油提供能源和动力，续航能力大于 30 公里。探冰雷达任务载荷，可对冰盖表面以下深 100 米冰盖结构进行探测。



图 20 南极探冰机器人

“南极埃默里冰架地形勘测”项目现场经过机器人组装、调试、测试和执行探路任务等过程，遭遇了低温、白化天、大风、降雪和大雾等恶劣天气，通过了复杂冰雪路面行走的检验，历时 25 天，机器人行走总里程约 200 多公里，任务测线长约 140 公里。现场测试与应

用验证了探冰机器人系统设计的有效性。本项试验的成功，结合航空雷达和遥感照相等宏观冰裂隙探测方法，为在未知冰盖区域建立安全运输路线提供了成功安全有效的技术保障和手段。

2017 年，中国攻克了强辐射环境可靠通信、辐射防护加固等核用机器人关键技术，成功自主研发耐核辐射机器人。中国的耐核辐射机器人可以承受 65°C 的高温，它携带的相机等传感器，可在每小时 1 万个西弗 (sv) 的核辐射环境中工作，特别是其水下高清耐辐射摄像系统，采用独特辐射屏蔽技术，可在水平方向 360 度旋转无盲区，即便在水下 100 米工作也仍然稳定可靠。

5.5 军事应用

军用机器人是机器人在军事领域的特殊应用，主要是用机器人替代人类完成一些军事任务，通过预先制定一套战略目标，在智能化信息处理系统以及远程通信系统的辅助之下，在一定程度上取代军人完成预先设定的战略任务。按照使用环境和军事用途来分类，军用机器人主要有以下四大类：地面军用机器人、空中机器人、水下机器人和空间机器人。

相较于普通的军人，军用机器人在军事方面天然的具有一些优势。首先，军用机器人可以全方位、全天候连续作战，无论是在多么恶劣的环境之下，军用机器人都可以精准地完成任务；第二，与人类不同，机器人不畏惧疼痛，在战场上具有极其强大的生存能力；第三，因其没有情感因素的存在，对战争与死亡不会产生畏惧心理，能够绝对服从上级的命令，完成用户下达的指挥，减少了战争中因为人类情感的复杂性而带来的变数，有利于战事分局和对武力掌控。

20 世纪 60 年代开始，美国便已经开始了对于军用机器人的研究。军用机器人的发展至今经历了三代的演变。第一代的军用机器人是依赖于人的智慧的“遥控操作器”，延伸了人们军事行动的范围，但主要还是依托于人的存在；第二代机器人则加入了事先编好的程序，机器人可以脱离于用户本身，自动重复地完成某项任务，但智能化程度很低，甚至可以说是没有智能化；第三代机器人则是现代的具有人工智能的机器人，它们通过传感器收集到周围环境的信息，并通过智能系统对环境信息进行数据处理与分析，最终做出判断与决策。军用机器人在侦察、排雷、防化、进攻、防御以及保障等各个领域有着广泛的运用，最近的无人机、机器人步兵则更是多个学科交叉研究的高科技产品，集中了当今科学技术的许多尖端成果。目前，美国已将其研发的无人机应用到战争中，其中，非常有代表性的有“死神”无人机和“全球鹰”无人机，均使用于阿富汗战争。



图 21 美军“死神”无人机



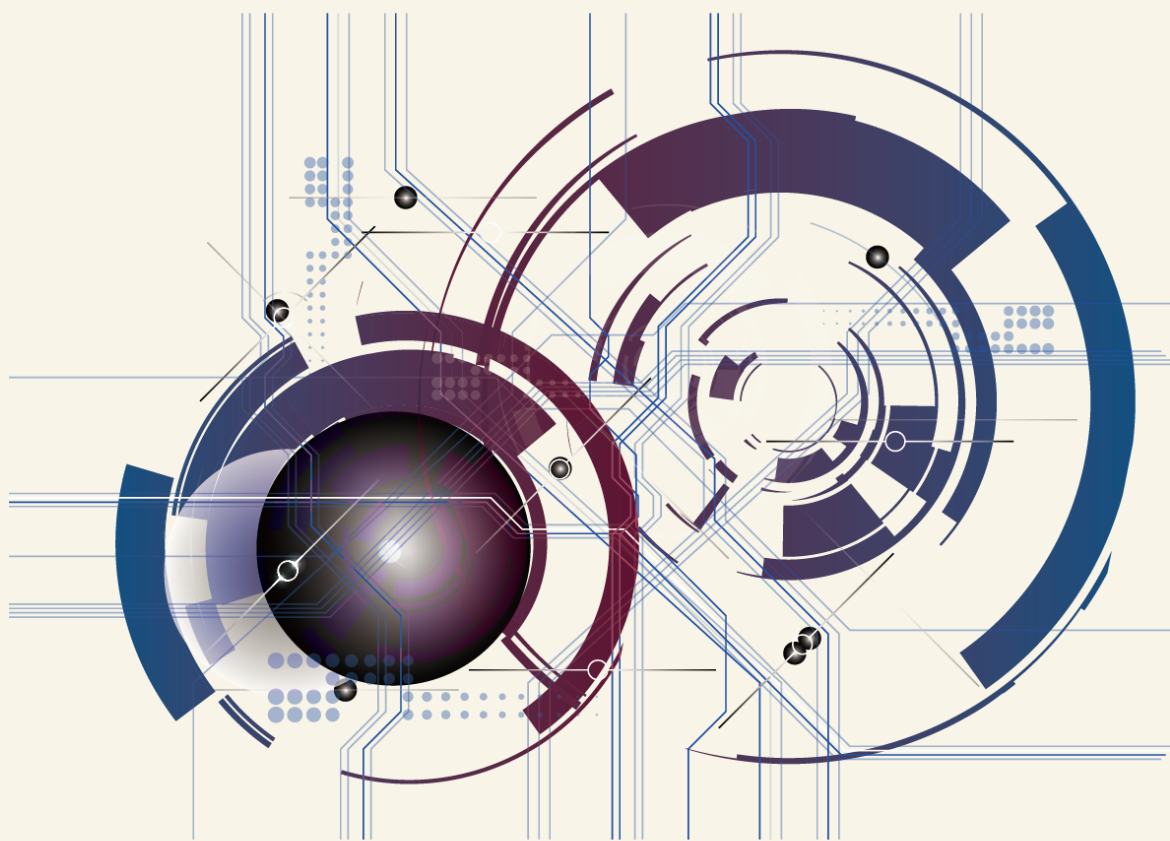
图 22 美军新型战斗机器人

军事力量的强弱直接关系到一个国家的军事安全。作为军事力量中的重要组成部分，军用机器人的研发受到了世界上各个国家的重视。目前来看，军用机器人的研发强国主要以发达国家为主，美德英法意以日韩，这八大国家不仅在军用机器人的技术研发上处于世界的先进水平，在成果的输出与军事化的实际应用上也取得了举世瞩目的成就。据统计，目前全球已超过 60 个国家的军队装备了人工智能军用机器人，种类超过 150 种。预计到 2040 年，美军可能会有一半的成员是智能机器人。虽然我国在军用机器人的研发上与发达国家有较大的差距，但是政府一直很重视军用机器人的研发，并给予了相当大的政策支持。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》、《国家高技术研究计划（863）“十一·五”发展纲要》、《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》等有着重提出，国家 863 计划、国家自然科学基金、国防科工委预研项目中予以重点支持。

AMiner

6 competition

比赛篇



6 比赛篇

机器人不仅渗透到了人们的生活中，而且激发了人们的挑战和思考，越来越多的国际性比赛纷纷涌现，为促进机器人的研究和发展做出了重要贡献。

6.1 机器人世界杯（RoboCup）

RoboCup 是当前国际上级别最高、规模最大、影响力最广泛的机器人赛事，不仅是一项综合性的国际活动，同时也是学术成分最高的赛事之一，其目的是通过一个易于评价的标准平台促进人工智能与机器人技术的发展，目标是在 2050 年前后能组建一支机器人足球队战胜当年的人类世界杯冠军。

RoboCup 足球赛分为 5 个组：小型组、中型组、类人组、标准平台组和足球仿真组。RoboCup 的第一场正式比赛是在 1997 年，当时只有 4 个国家的 40 支队伍参赛。中国第一次参加 RoboCup 是在 2000 年，第一次夺冠是在 2010 年。2010 年 6 月，北京信息科技大学代表队在新加坡举行的中型机器人足球世界杯赛中战胜上届冠军荷兰爱因霍夫理工大学队取得冠军。自此，中国的队伍开始频繁地在 RoboCup 上出现。

2018 年机器人世界杯在伊朗举行。来自全世界最强大的 11 个国家，包括德国、土耳其、中国、新加坡和韩国，全世界共有 478 支球队参加了 38 个组别的冠军争夺，其中最强大的至少有 24 支顶尖球队都争先与地方队伊朗争夺冠军名额，第十三届 RoboCup 伊朗公开赛包括一些机器人足球联赛，以及专注于救援和扫雷模拟，家庭应用和无人驾驶飞行器操作的团队。2018 年 6 月，浙江大学 ZJUNlct 队获得机器人足球赛小型组冠军。这是浙大 ZJUNlct 小型足球机器人团第三次问鼎。



图 23 2013 年 water 队夺冠

6.2 国际智能机器人与系统大会（IROS）

2016 年，在第 29 届 IROS 大会上（International Conference on Intelligent Robots and Systems，国际智能机器人与系统），包括清华大学、杜克大学、苏黎世联邦理工学院、韩国科学技术院在内的十余家研究机构共同参加了“机械手抓取与操作”、“无人机自主飞行”和“人形机器人”三类竞技比赛。清华大学计算机科学与技术系孙富春教授带领团队参加机械手抓取与操作竞赛中的两个任务，分别荣获第一名和第三名。其中，在重点考查自主环境

感知、自主轨迹规划和自主抓取策略等方面的全自主任务中，孙富春教授带领的智能技术与系统国家重点实验室利用深度学习的多模态融合物体检测与分类模块和自主规划操作策略等相关技术，在该项任务中获得冠军。



图 24 第 29 届 IROS 大会

2017 年 9 月 25 日，第 30 届 IROS 大会在加拿大温哥华正式开幕。作为国际机器人与自动化领域最有影响力的学术会议之一，本次大会吸引了来自世界各地共计 2000 多名机器人学的专家和学者参会。在该届大会上同样也展开了机器人竞赛环节，共进行了人形机器人应用挑战赛、无人机竞速比赛及机器人抓取和模拟竞赛三类比赛。

第 31 届国际智能机器人与系统大会将于 2018 年 10 月 1 日在西班牙马德里召开。

6.3 机器人大赛（ICRA RoboMaster 机器人大赛）

IEEE ICRA（International Conference on Robotics and Automation，国际机器人与自动化学术会议），是机器人领域的旗舰会议。ICRA RoboMaster 机器人大赛，是由其支持单位 RoboMaster 举办的机器人技术挑战赛，在每年的技术挑战赛中，机器人被要求全自动运行完成赛事指定挑战任务。其中，2016 年 ICRA 与空客公司合作，要求参赛的机器人在 60 分钟内精准地在一块平面铝板上钻出数百个洞，参赛对象可以由模块化机械装置组成的机器人系统；2017 年 ICRA 与大疆创新合作，比赛规则是在完全自动化条件下，让机器人把箱子从一个地方搬到另一个地方，再把这些箱子垒起来。

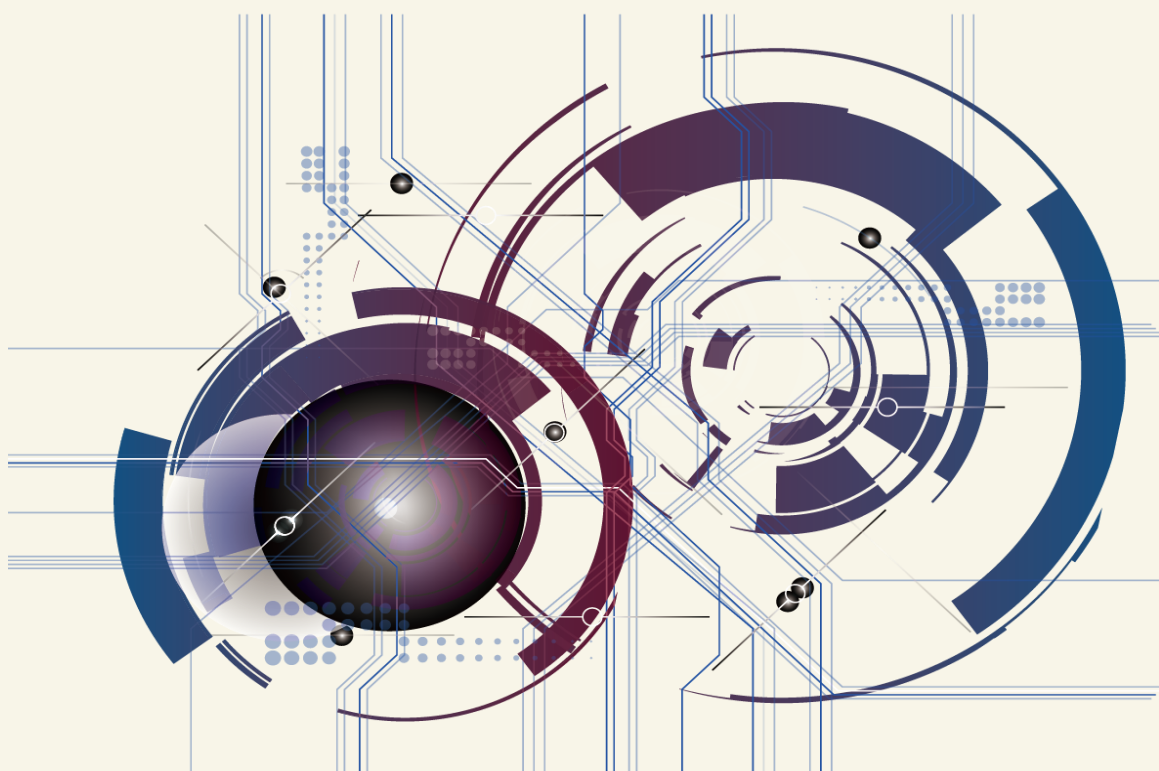
2018 年 ICRA RoboMaster 机器人大赛已经结束，其主题为全智能机器人射击对抗型比赛。这次的挑战赛由五项赛事组成，分别是：2018 可移动微型机器人挑战赛、房间整理家务机器人挑战赛、软体机器人挑战赛、机器人初创公司启动大赛和大疆创新人工智能挑战赛。



图 25 ICRA RoboMaster 机器人大赛挑战现场

7 trend

趋势篇



7 趋势篇

7.1 机器人与 AI 交叉研究

AMiner 通过对两个领域知识图谱的计算，再对两个领域的细分子领域进行笛卡尔乘积热点挖掘，挖掘出历史数据热点并对未来趋势进行预测。

7.1.1 历史热点图



图 26 2007 年至今机器人学领域与人工智能领域交叉热点图

在该图中，横轴为机器人学领域热点，纵轴为人工智能领域热点；绿色数值代表两个领域交叉学者数量，蓝色数值代表两个领域论文数量；红色颜色越深表示交叉领域热点越高。由此可以看出，2007 年至今 Robotics 领域与 Artificial Intelligence 领域的交叉研究中，Neural Networks & Robotics、Control Methods & Robotics 和 Computer Vision & Robotics 领域热度最高。

7.1.2 趋势预测

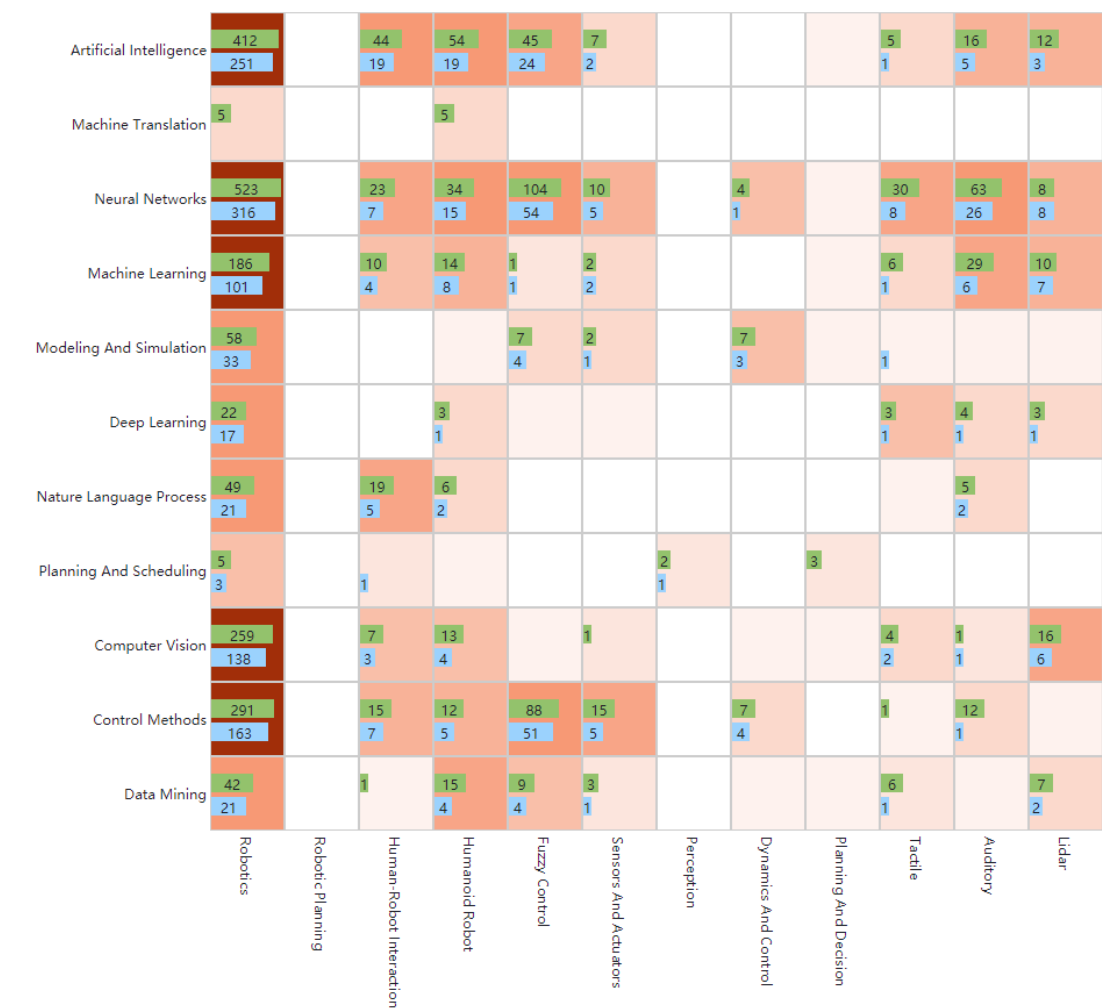


图 27 机器人学领域与人工智能领域未来 3 年趋势热点图

经预测，未来三年内交叉研究的主要领域是机器人学习，主要是 Robotics 和 Neural Networks、Machine Learning、Computer Vision、Control Methods 等领域的交叉。

机器人未来的发展有三大趋势：软硬融合、虚实融合和人机融合。软硬融合是指机器人软件比硬件更为重要，因为人工智能技术体现在软件上，数字化车间的轨迹规划、车间布局及自动化上料等都需要软硬件相结合。因此，机器人行业的人才既要懂机械技术，又要懂信息技术，尤其是机器人的控制技术。虚实融合是指通过大量仿真、虚拟现实，能够把虚拟现实与车间的实际加工过程有机结合起来。人机融合是指人、机器和机器人这三者如何有机融合，值得业界的深入思考。

7.2 我国机器人发展的前景展望

目前，我国机器人产业正处于蓬勃发展的状态，各类机器人正快速发展。工业机器人作为制造业皇冠顶端的明珠，其性能优势决定了其在工业生产中的优势地位。近年来，随着经济危机阴影的消退，工业机器人的生产需求量不断上升，市场销量也保持快速增长。未来，一方面由于我国劳动力人口不断减少，劳动力缺口不断提升，对工业机器人的需求会呈增加

趋势；另一方面随着产品加工精度不断提高等，对工业机器人性能的需求也会不断提升。对于服务机器人，有机构预测未来服务机器人将像家用电器一样普及，广泛参与人们的生活、走进千家万户。特别是随着我国人口老龄化加速，未来对医疗服务机器人、陪伴机器人等的需求有可能出现爆炸式增长。凭借其重要的战略意义，未来军事机器人也将越来越受到重视，其智能化将会越来越高。而军事机器人的尺寸则将会呈现出“两级分化”的发展趋势：一方面，为满足新形势下急难险重任务的需求、提高工作效率，一部分机器人将越来越偏向大型化；另一方面，为提高隐蔽性、方便士兵携带，另一部分军用机器人将越来越小，呈微型化发展。

虽然目前机器人市场基本被国外品牌垄断，但我国政府开始对机器人领域的重视：我国工信部发布的《机器人产业发展规划（2016—2020 年）》中明确要求要大力发展机器人关键零部件，强化产业创新能力，以提升我国机器人的竞争力，为《中国制造 2025》服务。同时，我国的自主品牌开始创立起来，创新能力不断提高，市场也在一步步打开。

AMiner

参考文献

- [1] 贾丙西, 刘山, 张凯祥, 陈剑. 机器人视觉伺服研究进展: 视觉系统与控制策略[J]. 自动化学报, 2015, 41(05): 861-873.
- [2] 谭民, 王硕. 机器人技术研究进展[J]. 自动化学报, 2013, 39(07): 963-972.
- [3] 王田苗, 陶永, 陈阳. 服务机器人技术研究现状与发展趋势[J]. 中国科学: 信息科学, 2012, 42(09): 1049-1066.
- [4] 张铁中, 杨丽, 陈兵旗, 张宾. 农业机器人技术研究进展[J]. 中国科学: 信息科学, 2010, 40(S1): 71-87.
- [5] 郭策, 戴振东, 孙久荣. 生物机器人的研究现状及其未来发展[J]. 机器人, 2005(02): 187-192.
- [6] 孙立宁, 胡海燕, 李满天. 连续型机器人研究综述[J]. 机器人, 2010, 32(05): 688-694.
- [7] 王天然. 机器人技术的发展[J]. 机器人, 2017, 39(4): 385-386.
- [8] 王义萍, 陈庆伟, 胡维礼. 机器人行为选择机制综述[J]. 机器人, 2009, 31(05): 472-480.
- [9] Bardt H. Autonomous Driving—a Challenge for the Automotive Industry[J]. Intereconomics, 2017, 52(3): 171-177.
- [10] Lin P, Bekey G A, Abney K. Robots in War: Issues of Risk and Ethics[J]. Ethics & Robotics, 2009.
- [11] Kikuuwe R, Yoshikawa T. Robot perception of environment impedance[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA. IEEE, 2002: 1661-1666 vol.2.
- [12] Khatib O, Quinlan S, Williams D. Robot planning and control[J]. Robotics & Autonomous Systems, 1997, 21(3): 249-261.

版权声明

AMiner 研究报告版权为 AMiner 团队独家所有，拥有唯一著作权。AMiner 咨询产品是 AMiner 团队的研究与统计成果，其性质是供用户内部参考的资料。

AMiner 研究报告提供给订阅用户使用，仅限于用户内部使用。未获得 AMiner 团队授权，任何人和单位不得以任何方式在任何媒体上（包括互联网）公开发布、复制，且不得以任何方式将研究报告的内容提供给其他单位或个人使用。如引用、刊发，需注明出处为“AMiner.org”，且不得对本报告进行有悖原意的删节与修改。

AMiner 研究报告是基于 AMiner 团队及其研究员认可的研究资料，所有资料源自 AMiner 后台程序对大数据的自动分析得到，本研究报告仅作为参考，AMiner 团队不保证所分析得到的准确性和完整性，也不承担任何投资者因使用本产品与服务而产生的任何责任。

AMiner