

第一部分 服务机器人的共性技术

第1章 绪论

随着社会的不断发展进步，各行各业的分工越来越细化，尤其是在现代化大产业链中，每个人的工作也越来越具体细微。很多人每天重复一个动作，各种职业病逐渐产生。另外，部分工作环境危险性高或存在有毒、有害等情况，易对工作者造成损害。于是，人们强烈希望用某种机器代替人类的工作。因此，机器人被研制出来去完成某些单调、枯燥、繁重或是危险的工作。机器人是一种自动化甚至智能化的机械装置，可代替或协助人类完成各种工作。凡是单调重复、危险性高、有毒有害的工作，都可由机器人大显身手。机器人除了广泛应用于制造业领域外，还应用于资源勘探开发、救灾排险、医疗服务、家庭娱乐、军事和航天等其他领域。机器人种类繁多，服务机器人是机器人家族中的重要一员，是非产业界的重要服务性设备。

1.1 机器人

1.1.1 机器人的发展历史

在我国，机器人的应用历史悠久，最早可以追溯到公元前 770 年至公元前 256 年的东周时期。而最早记载的机器人是在西周时期，当时的能工巧匠偃师研制出了能歌善舞的伶人。据《墨经》记载，春秋后期的木匠先祖鲁班（公元前 507 年—公元前 444 年）曾制造过一只木鸟，能在空中飞行“三日不下”。在汉代，大科学家张衡（78 年—139 年），不仅发明了地动仪，而且发明了计里鼓车。三国时期，蜀国丞相诸葛亮（181 年—234 年）成功地发明了“木牛流马”，并用其运送军粮。查考史书，《三国志·诸葛亮传》记载：“亮性长于巧思，损益连弩，木牛流马，皆出其意。”《三国志·后主传》记载：“建兴九年，亮复出祁山，以木牛运，粮尽退军；十二年春，亮悉大众由

斜谷出，以流马运，据武功五丈原，与司马宣王对于渭南。”这些古代机器人的发明体现了我国劳动人民的智慧。

在国外，公元1世纪，亚历山大时代的古希腊数学家希罗（约公元10年—70年）发明了以水、空气和蒸汽压力为动力的机械玩具，它可以自己开门，还可以借助蒸汽唱歌，如气转球、自动门等。500多年前，达·芬奇在人体解剖学的基础上利用木头、皮革和金属外壳设计出了初级机器人。根据记载，这个机器人以齿轮作为驱动装置，内部还配置了自动鼓装置，肌体间连接传动杆，不仅可以完成一些简单动作，还能发声。1662年，日本的竹田近江利用钟表技术发明了自动机器玩偶，并在大阪的道顿堀演出。1738年，法国天才技师杰克·戴·瓦克逊发明了一只机器鸭，它会嘎嘎叫，会游泳和喝水，还会进食和排泄。瓦克逊的本意是想把生物的功能加以机械化而进行医学上的分析。在当时的自动玩偶中，最杰出的要数瑞士的钟表匠杰克·道罗斯和他的儿子利·路易·道罗斯。

1920年，捷克斯洛伐克作家卡雷尔·恰佩克在他的科幻小说中，根据Robota（捷克文，原意为“劳役、苦工”）和Robotnik（波兰文，原意为“工人”），创造出“Robot（机器人）”这个词。

1939年，美国纽约世博会上展出了西屋电气公司制造的家用机器人Elektro。它由电缆控制，可以行走，会说77个字，甚至可以抽烟，不过离真正干家务活还差得很远。但它让人们家用机器人的憧憬变得更加具体。

1942年，美国科幻巨匠阿西莫夫提出“机器人三定律”。虽然这只是科幻小说里的创造，但后来成为学术界默认的研发原则。

1948年，诺伯特·维纳出版《控制论：或关于在动物和机器中控制和通信的科学》，阐述了机器中的通信和控制机能与人的神经、感觉机能的共同规律，率先提出以计算机为核心的自动化工厂概念。

1954年，在达特茅斯会议上，马文·明斯基提出了他对智能机器的看法：智能机器“能够创建周围环境的抽象模型，如果遇到问题，能够从抽象模型中寻找解决方法”。这个定义影响到之后30年的智能机器人研究方向。

1956年，美国人乔治·德沃尔制造出世界上第一台可编程的机器人，并注册了专利。这种机械手能按照不同的程序从事不同的工作，因此具有通用性和灵活性。

1959年，德沃尔与美国发明家约瑟夫·英格伯格联手制造出第一台工业机器人。随后，成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传，他也被称为“工业机器人之父”。

1962年，美国AMF公司生产出“VERSTRAN”（意思是万能搬运），与Unimation公司生产的Unimate一样成为真正商业化的工业机器人，并出口到世界各国，掀起了全世界对机器人和机器人研究的热潮。

1962年—1963年，传感器的应用提高了机器人的可操作性。人们试着在机器人上安装各种各样的传感器，包括1961年恩斯特采用的触觉传感器，托莫维奇和博尼1962

年在世界上最早的“灵巧手”上用到的压力传感器。而麦卡锡 1963 年则开始在机器人中加入视觉传感系统，并于 1964 年帮助 MIT 推出了世界上第一个带有视觉传感器、能识别并定位积木的机器人系统。

1965 年，约翰·霍普金斯大学应用物理实验室研制出 Beast 机器人。Beast 已经能通过声呐系统、光电管等装置，根据环境校正自己的位置。20 世纪 60 年代中期开始，美国麻省理工学院、斯坦福大学、英国爱丁堡大学等陆续成立了机器人实验室。美国兴起研究第二代带传感器、“有感觉”的机器人，并向人工智能进发。

1968 年，美国斯坦福研究所公布他们研发成功的机器人 Shakey。它带有视觉传感器，能根据人的指令发现并抓取积木，不过控制它的计算机有一个房间那么大。Shakey 可以算是世界第一台智能机器人，拉开了第三代机器人研发的序幕。

1969 年，日本早稻田大学加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。加藤一郎长期致力于研究仿人机器人，被誉为“仿人机器人之父”。日本专家一向以研发仿人机器人和娱乐机器人的技术见长，后来，更进一步催生出本田公司的 ASIMO 和索尼公司的 QRIO。

1973 年，有了世界上第一次机器人和小型计算机的携手合作，诞生了美国 Cincinnati Milacron 公司的机器人 T3。

1978 年，美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA，这标志着工业机器人技术已经完全成熟。PUMA 至今仍然工作在工厂第一线。

1984 年，英格伯格推出机器人 Helpmate，这种机器人能在医院里为病人送饭、送药、送邮件。同年，他还预言：“我要让机器人擦地板、做饭，出去帮我洗车、检查安全”。

1998 年丹麦乐高公司推出机器人（Mind-storms）套件，让机器人制造变得跟搭积木一样，相对简单又能任意拼装。机器人开始走入个人世界。

1999 年日本索尼公司推出犬型机器人爱宝（AIBO），当即销售一空，从此娱乐机器人成为机器人迈进普通家庭的途径之一。

2002 年，美国 iRobot 公司推出了吸尘器机器人 Roomba，它能避开障碍，自动设计行进路线，还能在电量不足时，自动驶向充电座。Roomba 是目前世界上销量最大、最商业化的家用机器人。

2006 年 6 月，微软公司推出 Microsoft Robotics Studio，机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显，比尔·盖茨预言：家用机器人很快将席卷全球。

2007 年，德国库卡公司（KUKA）推出了 1 000 kg 有效载荷的远距离机器人和重型机器人，它大大扩展了工业机器人的应用范围。

2008 年，日本发那科（FANUC）公司推出了一个新的重型机器人 M-2000iA，其有效载荷约达 1 200 kg。

2008 年，世界上第一例机器人切除脑瘤手术成功。施行手术的是卡尔加里大学医学院研制的“神经臂”。

2008年11月25日，国内首台家用网络智能机器人——塔米（Tami）在北京亮相。

2009年，瑞典ABB公司推出了世界上最小的多用途工业机器人IRB120。

2010年，德国库卡公司（KUKA）推出了一系列新的货架式机器人（Quantec），该系列机器人拥有KR C4机器人控制器。

2011年，第一台仿人型机器人进入太空。

2014年，国内首条“机器人制造机器人”生产线投产。

2014年，英国雷丁大学的研究表明，有一台超级电脑成功让人类相信它是一个13岁的男孩儿，从而成为有史以来首台通过“图灵测试”的机器。

2015年，我国研制出世界首台自主运动可变形液态金属机器。

2015年，世界级“网红”——Sophia（索菲亚）诞生。

2017年10月26日，索菲亚在沙特阿拉伯首都利雅得举行的“未来投资倡议”大会上获得了沙特公民身份，也是史上首位获得公民身份的机器人。

2017年11月，美国加州的Abyss Creations公司宣布，真正意义上的性爱女机器人已经成功研发，并正式进入全球市场开始销售，10 000美元起售。

除此之外，2017年还有很多让人惊讶的机器人，如全球首款社交机器人Jibo，会翻跟头的人形机器人Atlas等。

1.1.2 机器人的发展趋势

展望未来，对机器人的需求是多方面的。在制造业领域由于多数工业产品的商品寿命逐渐缩短，品种更加多样化，促使产品的生产从传统的单一品种成批量生产逐步向多品种小批量柔性生产过渡。由各种加工装备、机器人、物料传送装置和自动化仓库组成的柔性制造系统，以及由计算机统一调度的更大规模的集成制造系统将逐步成为制造业的主要生产手段之一。

现在工业上运行的大多数机器人都不具有智能。随着工业机器人数量的快速增长和工业生产的发展，对机器人的工作能力提出了更高的要求，特别是需要各种具有不同程度智能的机器人和特种机器人。他们有的能够模拟人类用两条腿走路，可在凹凸不平的地面上行走移动；有的具有视觉和触觉功能，能够进行独立操作、自动装配和产品检验；有的具有自主控制和决策能力。这些智能机器人需要应用各种反馈传感器，运用人工智能中各种学习、推理和决策技术，以及各种最新的智能技术，如临场感技术、虚拟现实技术、多媒体技术、人工神经网络技术、遗传算法和遗传编程、放声技术、多传感器集成和融合技术以及纳米技术等。可以说，智能机器人将是未来机器人技术发展的方向。

服务机器人是机器人家族中的重要一员，目前应用越来越广泛，且正在向智能化方向发展。智能服务机器人作为机器人产业的新兴领域，高度融合智能、传感、网络、云计算等创新技术，与移动互联网的新业态、新模式相结合，为促进生活智慧化、推动产业转型提供了突破口，引领服务模式实现“互联网+”变革，人工智能深入发展，云计

算应用深化。在技术层面,智能服务机器人将在人工智能和云计算方面实现进一步突破。人工智能是服务型机器人的“大脑”,机器人在非结构化环境下的识别、思考和决策能力,直接决定了机器人的智慧化程度。目前,全球各大科技巨头在人工智能研究方面持续投入,成为智能服务机器人实现良好人机互动的突破口。云计算是服务型机器人的“平台”,实现与移动互联网海量数据连接的纽带,能够完成实时信息搜索和信息提取,直接决定了机器人的应用延伸拓展水平。当前,采用云计算的智能服务机器人日益增多,未来可能成为服务机器人技术的“标准配置”。

1.1.3 机器人的定义与特点

1. 机器人定义

在科技界,科学家会给每一个科技术语一个明确的定义,但机器人问世已有几十年,机器人的定义仍然仁者见仁智者见智,没有一个统一的概念。原因之一是机器人还在发展中,新的机型,新的功能不断涌现。根本原因是机器人涉及人的概念,成为一个难以回答的哲学问题。就像机器人一词最早诞生于科幻小说中一样,人们对机器人充满了幻想。也许就是由于机器人定义的模糊,才给人们充分的想象和创造空间。

由于涉及对“人”的概念的理解差异,国际学术界至今对机器人没有统一的定义,不同的学者根据自己的研究方向各有侧重的说法,不同国家也有各自的习惯解释。

1967年,在日本召开第一届机器人学术会议,学者们提出两个具有代表性的机器人定义。一个是森政弘提出的定义:机器人是一种具有移动性、个体性、智能性、通用性、半机械、半人性、自动性、奴隶性等特征的柔性机器。另一方面,日本机器人之父早稻田大学加藤一郎认为:机器人是由能工作的手、能行动的和有意识的头脑组成的一个个体,同时具有非接触传感器(相当于人的耳目),接触传感器(相当于人的皮肤),固有感及平衡感等感觉器官和能力。日本工业机器人协会给出的定义:一种带有存储件和末端执行器的通用机械,它能够通过自动化动作替代人类劳动。

美国机器人工业协会给出的定义:机器人是一种用于移动各种材料、零件、工具和专用装置,通过可编程序动作来执行各种任务,并具有编程能力的多功能机械手。国际标准化组织 ISO(International Standard Organization)采用了美国机器人工业协会的定义。

我国科学家对机器人的定义:机器人是一种自动化的机器,所不同的是这种机器人具有一些人或生物相似的智能能力,如感知能力、规划能力、动作能力和协作能力,是一种具有高度灵活性的自动化机器。而与之对应的机器人学则是一门研究机器人的设计、制造和使用的学科。

2. 机器人三定律

1940年，科幻小说家艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)在小说中订立“机器人三定律”。阿西莫夫为机器人在程序上规定如下：

- (1) 机器人不得伤害人类，或袖手旁观坐视人类受到伤害。
- (2) 除非违背第一原则，机器人必须服从人类的命令。
- (3) 在不违背第一及第二原则下，机器人必须保护自己。

3. 机器人能力评价指标

(1) 智能(感觉和感知)，即记忆、运算、比较、鉴别、判断、决策、学习、推理等。

(2) 机能，是指变通性、通用性或空间占有性等。

(3) 物理能，是指力、速度、寿命、可靠性、通用性、连续运行能力等。

1.1.4 机器人的分类

机器人有多种分类标准，按负载及工作空间范围、按控制方式、按自由度、按应用领域、按国家区域、按机械结构坐标布置形式、按驱动方式、按技术发展等可以有不同的分类。我国科学家从应用环境出发，将机器人分为两大类，即工业机器人和特种机器人。所谓工业机器人是指面向工业领域的多关节机械手或多自由度机器人。特种机器人是指除工业机器人以外的，用于非制造业并服务于人类的各种先进的机器人。

工业机器人按自由度分类：如典型的四轴机器人、六轴机器人等。

按国家区域分类：欧美系列机器人、日系列机器人、国产机器人等。

按控制方式分类：国际上通常将机器人分为操作型机器人、程控型机器人、数控型机器人、示教型机器人、感觉型机器人、适应型机器人、学习型机器人、智能型机器人等八大类。

1.1.5 机器人的组成及其功能

大部分机器人由驱动系统、感知系统、执行系统、控制系统、软件及决策系统、人-机器人-环境交互系统等六大系统构成。

驱动系统是使机器人运作起来的驱动装置。在驱动系统的作用下机器人各个关节能够按设定的运动自由度工作。驱动系统分为液压传动、气压传动、电动传动或者多种传动结合的综合系统，驱动可以是直接驱动或者通过同步带、链条、轮系、谐波齿轮等机械传动机构进行间接传动。

感知系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成，用以获得内部和外部环境状态中所需要的信息。智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化的水准。

工业机器人的执行系统由机座、手臂、末端操作器三大部分组成，每一个大件都有

若干个自由度的机械系统。若基座具备行走机构，则构成行走机器人；若基座不具备行走及弯腰机构，则构成单机器人臂。手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端操作器是直接装在手腕上的一个重要部件，它可以是二手指或多手指的手抓，也可以是喷漆枪、焊具等作业工具。

控制系统的任务是根据机器人的作业指令程序，以及传感器反馈回来的信号支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。若工业机器人不具备信息反馈特征，则为开环控制系统；若具备信息反馈特征，则为闭环控制系统。根据控制原理，控制系统可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。根据控制运行的形式，控制系统可分为点位控制和轨迹控制。

人-机器人-环境交互系统是现代机器人与外部环境中的设备互换联系和协调的系统。机器人与外部设备集成为一个功能单元，如加工单元、焊接单元、装配单元等。当然，也可以是多台机器人、多台机床或设备、多个零件存储装置等集成为一套执行复杂任务的功能单元。人机交互系统是操作人员及机器人控制与机器人联系的装置，例如，计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。该系统归纳起来分为两大类：指令给定装置和信息显示装置。

1.2 机器人与服务机器人的不同之处

工业机器人面对的是工厂中的确定性环境，即结构化环境，作业特点是种类少、定型、高频率。工厂中，重视对特定环境下的最优化。服务机器人面对的是一般性的家庭的非确定环境，作业特点是对应于用户要求要实现多种多样的作业，根据自身的判断进行智能化作业，需要实时获得环境的信息。家庭中，重视环境变动、外扰存在情况下的可靠性。工业机器人通常要求精度高、寿命长、性能稳定可靠，而服务机器人除要求性能稳定可靠之外，同时还更多地要求安全及交互功能。

1.3 服务机器人

1.3.1 服务机器人的发展历程

西方国家在服务机器人产品研制开发方面起步较早。欧洲在康复机器人为代表的服务机器人方面的研究起源于20世纪70年代中期的Spartacus和Heidelbeg操纵手项目。1982年，荷兰开发了一个装在茶托上的试验用机械手，主要完成喂饭和翻书。Manus

机器人的研究始于 1984 年,其手臂包含 5 个自由度,经过几年的测试后,由荷兰的 Exact Dynamics BV 公司生产并投入市场。1987 年,英国人 Mike Topping 研制了 Handy1 康复机器人样机,使一个患有脑瘫的 11 岁男孩能够独立就餐。美国 Stanford 大学开发的 MOVAR 机器人可以穿行到各个房间,机械手上装有力传感器和接近觉传感器以保证工作安全可靠。1990 年,美国运输研究会(Transition Research Corporation, TRC)推出其第一个服务机器人产品:医院用的护士助手机器人。1993 年推出用于医疗服务的商业化服务机器人 Helpmate。1996 年本田公司推出令人惊叹的仿人机器人 P2,该机器人不但具有与人相仿的外形,而且能够完成与人的简单交流,能够独立演奏钢琴。在 1997 年日本举行的国际机器人展览会上, Sony 公司首次公开展示了机器狗“爱宝”。2004 年 2 月 25 日,世界第一届机器人会议在日本福冈市落下帷幕,会议发表了《世界机器人宣言》,与会代表一致认为,机器人领域正经历着从产业用机器人时代向生活用机器人时代的转变。

国内对服务机器人的研究起步较晚。20 世纪 90 年代中期,服务机器人技术得到国内科研人员的关注,近年来,在国家“863 计划”的支持下,我国在服务机器人的研究和产品研发方面开展了大量的工作,并取得了一定成绩。1995 年,清华大学开发了一个 7 自由度移动式护理机器人,以高位截瘫人员作为护理对象;北京航空航天大学、清华大学和海军总医院共同研制了用于脑外科手术的机器人;哈尔滨工业大学研制了“导游机器人”“迎宾机器人”“清扫机器人”“护理助手”和智能服务机器人青青等;2003 年 8 月,华南理工大学研制出了一张机器人护理病床;中国科学院自动化研究所研究出了护士助手机器人“艾姆”、智能保安机器人及智能轮椅等。2005 年 1 月,我国 863 计划先进制造与自动化技术领域办公室和国家自然科学基金委联合组织召开了智能服务机器人战略研讨会。会上,国内外相关领域的 20 多位专家应邀做了报告,重点围绕世界服务机器人的发展动态、我国服务机器人的发展方向及“十一五”期间机器人技术的发展重点等问题进行深入研究,将家用服务机器人的研发定为重要的发展目标。

1.3.2 服务机器人的定义及特点

1. 服务机器人定义

服务机器人是机器人家族中的一个年轻成员,到目前为止尚没有一个严格的定义。不同国家对服务机器人的认识不同。服务机器人的应用范围很广,主要包括维护保养、修理、运输、清洗、保安、救援、监护等工作。

国际机器人联合会(International Federation of Robotics, IFR)给服务机器人下了一个初步的定义:服务机器人是一种半自主或全自主工作的机器人,它能完成有益于人类的服务工作,但不包括从事生产的设备。欧美国家大多采用这种定义方式。而亚洲许多国家认为服务机器人是一种以半自主或全自主的方式操作,用于完成对人类福利和设备

有用的服务（制造操作除外）的机器人。这种定义所包含的机器人的范围更小，但更贴近普通人的理解。还有其他一些关于服务机器人的定义，例如：服务机器人是能在日常环境中完成对人类活动有用的服务的、基于传感器的、可预编程的机电一体化设备。

我国的服务机器人定义的范围要窄一些，主要指用于对人类提供服务的自主或半自主机器人，主要包括：清洁机器人、家用机器人、娱乐机器人、医用及康复机器人、老年及残疾人护理机器人、办公及后勤服务机器人、餐饮服务机器人等。在我国《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中对智能服务机器人给予了明确定义：智能服务机器人是在非结构环境下为人类提供必要服务的多种高技术集成的智能化装备。

从广义上说，服务机器人是指除工业机器人以外的各种机器人，主要用于服务业，包括室内机器人和室外机器人。狭义的服务机器人一般只包括家用服务机器人、教育娱乐机器人等，不包括医用机器人。

2. 服务机器人应用领域分类

国际机器人联合会对服务机器人按照用途进行分类，分为专业服务机器人和家用服务机器人两类。例如：专业服务机器人可分为水下作业机器人、空间探测机器人、抢险救援机器人、反恐防爆机器人、军用机器人、农业机器人、医疗机器人、检查和维护保养机器人；以及其他特殊用途机器人；个人/家庭用服务机器人可分为家政服务机器人、助老助残机器人、教育娱乐休闲机器人等。

3. 服务机器人的特点

随着技术的不断进步，对服务机器人的要求也越来越高，人们设计出各式各样的服务机器人以满足不同场合、不同层次的需求。与工业机器人相比，服务机器人具有其自身特点，如体积小、重量轻、灵活性高、易操作、适应性强、智能化程度高等。具体来说，服务机器人的特点主要包括以下几个方面。

（1）可移动性。为了能在某一区域内进行作业或执行某项特殊任务，服务机器人一般都具有一定的行走功能。服务机器人的可移动性通常由具体的运动机构来实现，如轮式机构、履带式机构、多足机构、可重构机构及复合机构等。服务机器人的可移动性有效拓展了其作业空间。

（2）轻便性。由于服务机器人功能较全，机构较多，这就要求尽可能减轻其自重和体积，以减少能量的消耗和增加机动灵活性。服务机器人的传动装置和控制装置也趋向轻型化，并尽量减少中间传动机构以提高机械传动效率。

（3）易操作性。服务机器人的操作对象主要是那些不具备专业知识的人，因此，要求服务机器人的操作尽可能简单、直接。

（4）适应性。适应性要求服务机器人不但能够在已知的环境中很好地工作，同时能够对作业过程中所遇到的位置环境做出合理的适应性反应，如发现障碍物并自行回

避等。

(5) 智能性。随着技术的不断发展及社会需求的不断提高，智能化已成为服务机器人发展的重要趋势，智能化要求服务机器人具有一定的学习、感觉和判断能力，并广泛采用高性能的视觉、听觉、触觉等多种传感器，使其具有感知能力和自主能力。

(6) 交互性。服务机器人与人的关系十分密切。人们之间需要进行信息交流、协调、合作。因此，要求服务机器人具有较好的交互性，使人与服务机器人之间的沟通更为方便、快捷。

1.3.3 服务机器人的构成及其功能

虽然服务机器人种类繁多、形式多样化、功能各异，但是一个完整的服务机器人系统通常由以下几个部分构成：本体结构、控制系统、决策系统、执行机构、感知系统、人机交互、能源供应等，如图 1-1 所示。

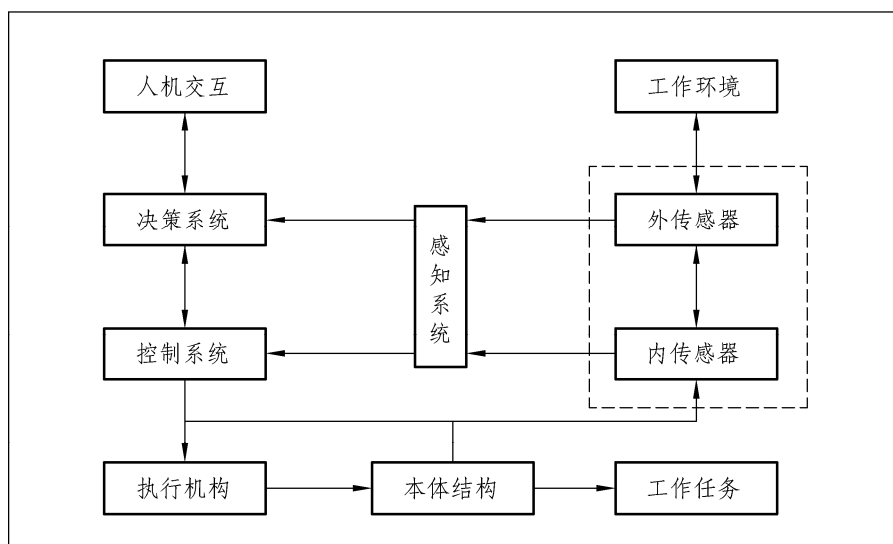


图 1-1 服务机器人的系统构成

用户通过人机交互系统将任务传达给服务机器人，高层的决策系统通过融合感知系统传送的数据信息，确定机器人所处的外部环境状态、机器人的运动状态，并据此做出决策。依据决策结果，由控制系统选择合适的控制策略，并输出相应的控制指令，通过执行机构来驱动机器人本体结构的运动，以实现预定的工作任务。在任务执行过程中，内传感器通过力传感器、位置传感器、测速计、光电编码器、陀螺仪等实现对机器人运动状态的描述；外传感器通过红外传感器、激光传感器、超声传感器、视觉传感器、微波雷达等感知外部工作环境信息。感知系统将所获取的机器人运动状态及工作环境状态反馈给系统决策层并作为决策依据。从图 1-1 中可知，人机交互与决策系统之间存在双