

国家自然科学基金资助项目

FANGSHENG FUWU JIQIREN YU YILIAO KANGFU JIQIREN

# 仿生服务机器人 与医疗康复机器人

刘金伟 陈勇 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 仿生服务机器人 与医疗康复机器人

刘金伟 陈勇 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

·北京·

## 内 容 提 要

本书对仿生服务机器人与医疗康复机器人的基础理论和实践应用进行了研究,主要内容包括服务机器人的基本简介、服务机器人的仿生设计、医疗康复机器人的基本简介、医疗康复机器人的信息采集、医疗康复机器人的仿生设计、医疗康复机器人的快速制造等。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,是一本值得学习研究的著作,可供相关人员参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

仿生服务机器人与医疗康复机器人 / 刘金伟, 陈勇  
著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2017. 4  
ISBN 978-7-5170-5294-4

I. ①仿… II. ①刘… ②陈… III. ①康复—服务用  
机器人—研究 IV. ①TP242.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第074636号

书 名	仿生服务机器人与医疗康复机器人 FANGSHENG FUWU JIQIREN YU YILIAO KANGFU JIQIREN
作 者	刘金伟 陈 勇 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202613、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市佳星印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 13.75印张 178千字
版 次	2017年5月第1版 2017年5月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	45.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 前 言

每个人都会衰老,随着年龄的增长,老年人的身体机能逐渐衰退,从而导致各种疾病,例如高血压、糖尿病、帕金森、痴呆、中风、抑郁等。老年人的身心健康问题日益凸显。2016年6月20日,国家统计局公布,我国65岁及以上的老年人达到1.44亿,占全国总人口的10.47%。丧失生活自理能力的老年人超过4000万,长期依赖医疗康复和生活照料,给家庭和社会带来了巨大的负担。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020年)》将机器人列为未来15年重点发展的前沿技术。《中国制造2025》将机器人列入十大重点发展领域。《机器人产业发展规划(2016—2020年)》将机器人作为未来5年优先发展的战略技术,不断提高对机器人的重视程度,促进机器人的标准化,扩大市场应用,满足日益增长的社会需求。

目前,我国的服务机器人和医疗康复机器人虽然多种多样,但是大多数项目属于跟踪研究,原创性成果较少,缺乏独特的创意理念,遇到了发展瓶颈。受到传统的机器人设计理论原理和方法的限制,很难再提高服务机器人和医疗康复机器人的运动性能。

自然界各种各样的生物,经过亿万年的进化过程,在复杂多变的环境中生存下来,逐渐拥有神奇的特性与功能,成为优良的仿生对象。研究人员通过借鉴生物在形态结构、能量转换、运动控制、姿态调整、信息处理等方面的鲜明个性,从理论、技术和方法上提出全新的仿生理念,用以解决传统机器人设计难以解决的问题,从而增强服务机器人和医疗康复机器人的创新设计水平和实际应用能力。

读者通过阅读本书,能够对仿生服务机器人与医疗康复机器人的基础理论和实践应用有一个系统的认识和全面的了解。本书共分6章,第1章至第2章由大连交通大学的陈勇副教授撰写,第3章至第6章由长江大学机械工程学院新能源车辆研究所的刘金伟博士撰写。

在撰写过程中,获得了国家自然科学基金项目(编号:51305055)、辽宁省自然科学基金项目(编号:2015020107)、辽宁省高等学校杰出青年学者计划项目(编号:LJQ2015018)、大连市高层次人才创新支持计划项目(编号:2015R074)、辽宁省学科提升计划专项基金和湖北省长江大学博士启动基金项目(编号:801140010122)的资助。同时,引用了国内外学者的文献资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者自身水平有限,加之时间仓促,书中难免会出现疏漏和不足之处,恳请各位读者指正,以期共同进步。

作者

2016年8月



# 目 录

## 前言

第 1 章 服务机器人的基本简介 .....	1
1.1 服务机器人的研究意义 .....	1
1.2 服务机器人的研究现状 .....	2
1.3 服务机器人的主要功能 .....	11
1.4 服务机器人的共性技术 .....	12
1.5 服务机器人的发展趋势 .....	44
本章参考文献 .....	45
第 2 章 服务机器人的仿生设计 .....	49
2.1 昆虫的仿生机理 .....	49
2.2 动物的仿生机理 .....	57
2.3 人体的仿生机理 .....	64
2.4 服务机器人的仿生设计实例 .....	83
本章参考文献 .....	113
第 3 章 医疗康复机器人的基本简介 .....	117
3.1 医疗康复机器人的研究背景 .....	117
3.2 医疗康复机器人的研究进展 .....	119
3.3 医疗康复对象的影响因素 .....	123
3.4 医疗康复对象的成像技术 .....	128
3.5 医疗康复对象的三维重建 .....	132
3.6 医疗康复对象的力学性能 .....	144
本章参考文献 .....	146

第4章 医疗康复机器人的信息采集 .....	150
4.1 用户信息的采集系统 .....	151
4.2 用户需求的分类系统 .....	161
本章参考文献 .....	167
第5章 医疗康复机器人的仿生设计 .....	168
5.1 医疗康复对象的结构设计 .....	168
5.2 医疗康复对象的设计需求 .....	172
5.3 医疗康复对象的三维建模 .....	175
5.4 医疗康复对象的强度校核 .....	180
本章参考文献 .....	186
第6章 医疗康复机器人的快速制造 .....	188
6.1 医疗康复机器人的材料选用 .....	188
6.2 医疗康复机器人的制造方案 .....	190
6.3 医疗康复机器人的加工制造 .....	191
本章参考文献 .....	213

# 第 1 章 服务机器人的基本简介

一个国家在机器人研发、制造与应用方面的能力,已经成为衡量其创新能力和产业竞争力的重要标志。我国服务机器人的研究正处于探索期,从行业整体来看,服务机器人的商业模式和产品模式还有较大的发展潜力。受到国内老龄化等因素的推动,服务机器人国内市场刚需巨大。随着人工智能时代的到来,服务机器人已经进入消费市场,未来几年将迎来爆发期。预计到 2017 年,服务机器人产值将达到 500~700 亿美元,产值和市场占有率都将超过工业机器人。

## 1.1 服务机器人的研究意义

每个人都会衰老,随着年龄的增长,老年人的身体机能逐渐衰退,而罹患各类疾病的概率随之增加,例如高血压、糖尿病、帕金森、痴呆、中风、抑郁等,健康问题日益凸显。2016 年 4 月 20 日,国家统计局公布,我国 65 岁及以上的老年人达到 1.44 亿,占全国总人口的 10.47%。丧失生活自理能力的老年人超过 4000 万,长期依赖医疗康复和生活照料,给家庭和社会带来了巨大的负担。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》将机器人列为未来 15 年重点发展的前沿技术。《中国制造 2025》将机器人列入十大重点发展领域。《机器人产业发展规划(2016—2020 年)》将机器人作为未来 5 年优先发展的战略技术,不断提高对机器人的重视程度,促进机器人的标准化,扩大市场应用,满足日益增长的社会需求。

目前,我国的服务机器人和医疗康复机器人虽然多种多



样,但是大多数项目属于跟踪研究,原创性成果较少,缺乏独特的创意理念,遇到了发展瓶颈。传统的机器人设计理论受到原理和方法的限制,很难再提高服务机器人和医疗康复机器人的运动性能。

服务机器人帮助老年人恢复运动能力和生活能力,重新回归社会。研发具有自主知识产权的服务机器人,对于提高我国服务机器人的自主创新设计能力具有重要的科学意义。

### 1.2 服务机器人的研究现状

服务机器人融合了机器人学、人体运动科学、耦合仿生技术、康复医学、人机工程学、信息科学、控制技术、人工智能和实验科学等诸多领域的高科技,已经成为机器人领域的国际研究热点,带动了相关领域新原理、新方法和新技术的发展。

#### 1.2.1 国外的研究进展

外骨骼助行机器人是服务机器人的一个研究热点,属于国际前沿科技。

穿戴者的参与,提高了系统的智能程度,外骨骼助行机器人又拓展了穿戴者的能力,增强了其对环境的适应性。在外骨骼助行机器人的控制系统中,穿戴者成为控制系统中的一个组成部分,穿戴者可以为外骨骼助行机器人提供系统所需的目标参数。

1996年,德国柏林自由大学研制了MGT外骨骼助行机器人,能够根据穿戴者的运动情况提供被动、主动和阻抗三种运动模式,如图1-1所示。

1999年,美国新泽西州Rutgers大学研制了踝关节外骨骼机器人,能够模拟穿戴者在不同路面的运动,如图1-2所示。



图 1-1 MGT 外骨骼助行机器人



图 1-2 Rutgers 大学的外骨骼机器人

1999 年,瑞士理工学院研制了外骨骼助行机器人,利用伺服电机对腿部进行驱动,如图 1-3 所示。

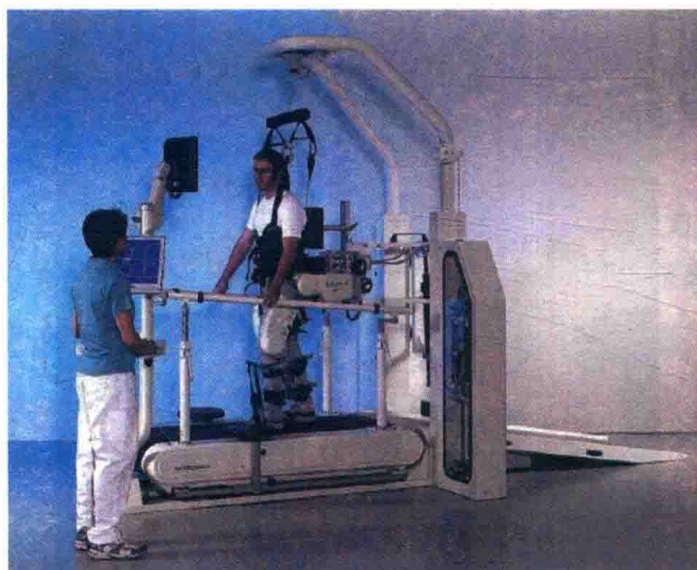


图 1-3 瑞士理工学院的外骨骼助行机器人

2002年,日本筑波大学研发了外骨骼助行机器人,利用计算机的信息对机器人进行驱动,如图 1-4 所示。



图 1-4 日本筑波大学的外骨骼助行机器人

2004年,美国加州大学伯克利分校研制了 BLEEX 外骨骼助行机器人,如图 1-5 所示。由 40 多个传感器和液压驱动器组成了

一个局域网络向计算机提供必要的信息,计算机根据这些信息获取穿戴者的运动状态。

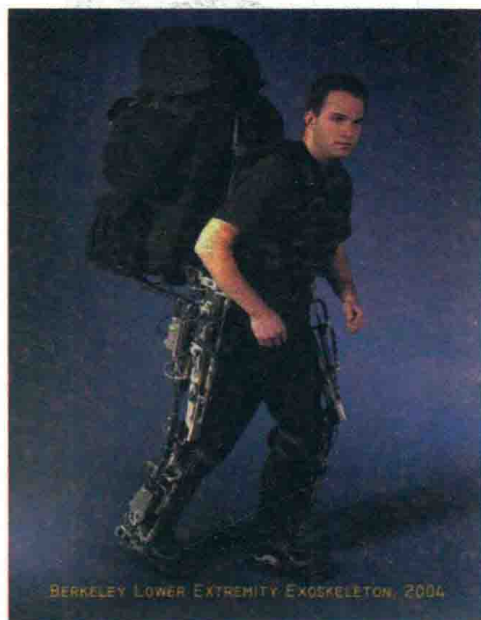


图 1-5 BLEEX 外骨骼助行机器人

2010年,新西兰 Rex Bionics 公司研制了 Rex 外骨骼助行机器人,如图 1-6 所示。Rex 外骨骼助行机器人穿戴在下身瘫痪者的腿上,能够支撑身体,帮助穿戴者重新站起来。Rex 外骨骼助行机器人由一个轻便的充电电池提供动力,充一次电可用一天。利用残肢的肌力和摆动原理,在人工膝盖调节器中装配了以微电脑为枢纽的电子控制部件,对空气通道和阀门进行控制,强制膝盖作自由屈伸运动,解决了速度变化的控制问题。

2011年,以色列埃尔格医学技术公司研制了 Rewalk 外骨骼助行机器人,如图 1-7 所示。Rewalk 外骨骼助行机器人包括装有发动机的腿部支架、身体传感器、装有电脑控制器和充电电池的黑色背包、用来控制身体平衡的拐杖,能够帮助下身麻痹和截瘫的穿戴者站立和上下楼梯。所有动作完全由穿戴者来控制,穿戴者通过手腕上的遥控腕带发出命令,然后身体前倾以激活传感器,Rewalk 外骨骼助行机器人就可以行走了。如果想要停下来,只需要把身体直立起来。





图 1-6 Rex 外骨骼助行机器人



图 1-7 Rewalk 外骨骼助行机器人

2011年,美国伯克利仿生技术公司研发出 eLEGS 外骨骼助行机器人,如图 1-8 所示。电池能够保证穿戴者行走一整天,电量用完后需要换下来充电。



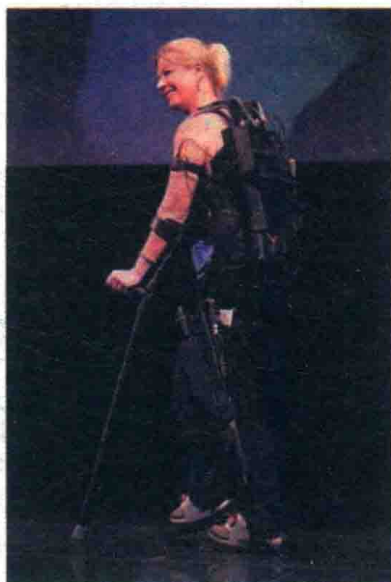


图 1-8 eLEGS 外骨骼助行机器人

2012 年,美国佛罗里达州的人与机器认知研究院研制了 IH-MC 外骨骼助行机器人,帮助由于脊髓损伤引起的下肢残障穿戴者实现行走,如图 1-9 所示。



图 1-9 IHMC 外骨骼助行机器人

### 1.2.2 国内的研究进展

对于外骨骼助行机器人的研究,国内开展的较晚,同时受到

驱动、控制、材料等方面的限制,相关成果还停留在实验室阶段。

2004年合肥智能机械研究所研制的外骨骼机器人如图1-10所示。以关节和足底的接触力信息为控制信号,通过调整人机假想的弹性和阻尼,预测穿戴者的运动意图,实现柔顺控制,为穿戴者提供助力,扩展穿戴者下肢的运动能力。

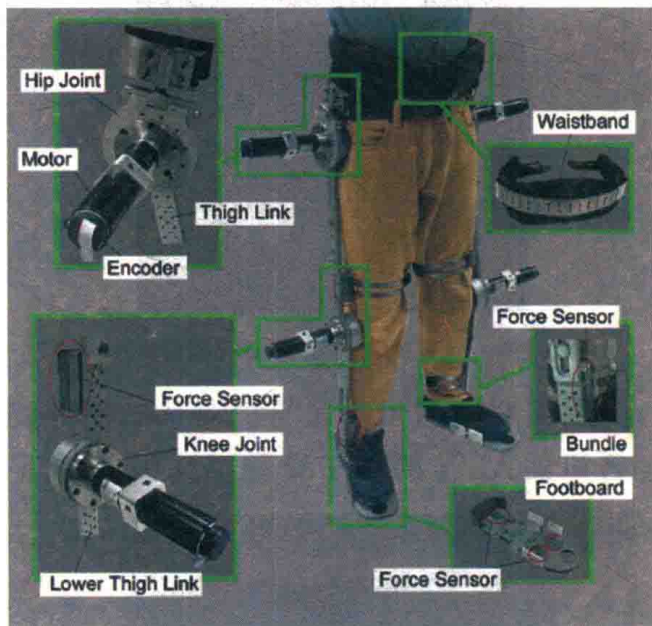


图 1-10 合肥智能机械研究所研制的外骨骼机器人

2006年,哈尔滨工程大学研制了卧式外骨骼助行机器人,帮助恢复穿戴者下肢的运动能力,如图1-11所示。

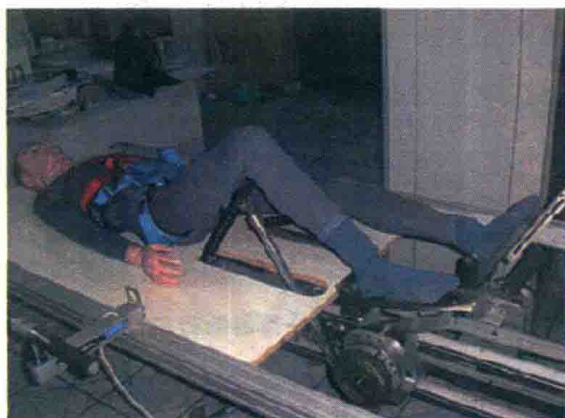


图 1-11 卧式外骨骼助行机器人

2007 年,河北工业大学的刘更谦等人研制了 3-RSS 踝关节外骨骼助行机器人,可以实现踝关节的背伸/趾屈、内翻/外翻、内收/外展,如图 1-12 所示。



图 1-12 3-RSS 踝关节外骨骼助行机器人

2012 年,上海交通大学的谢叻等人研发了一种外骨骼助行机器人,如图 1-13 所示。该外骨骼助行机器人具有 3 个自由度,可帮助脊髓损伤在 T5 以下的截瘫穿戴者实现站立和行走,能够提高穿戴者的自理能力和生活信心。



图 1-13 上海交通大学的外骨骼助行机器人

由于生理机能的衰退,老年人下肢肌肉的力量非常薄弱,存在肢体运动障碍,平衡能力很差,极易摔倒,造成肢体的二次伤害<sup>[1-5]</sup>。目前,国内外学者针对老年人外骨骼助行机器人的研究,主要集中在以下几个方面。

### (1) 基于智能控制的外骨骼助行机器人

Kawamoto 等人研制了一种外骨骼助行机器人来获得运动状态信息,进行穿戴者姿态的控制<sup>[6]</sup>。Fang 等人研制了一种可穿戴式外骨骼助行机器人,以关节和足底的接触力信息为控制信号,通过调整人机系统的弹性和阻尼,预测人体运动意图,实现柔顺控制,为穿戴者提供助力,增强下肢运动能力<sup>[7]</sup>。彭锦波等人研制了一种外骨骼助行机器人,对偏瘫穿戴者进行肌肉按摩和辅助行走<sup>[8]</sup>。田双太等人研制了一种可穿戴式外骨骼助行机器人,利用自然行走时脚底压力的变化信息,结合角度传感器、加速度计和一维力传感器作为位置、速度和助力的反馈信号,为运动控制提供感知信息<sup>[9]</sup>。周武啸等人在保证良好性能的前提下,从硬件和控制策略上进行综合考量,简化了控制策略,降低了外骨骼助行机器人控制系统的复杂度<sup>[10]</sup>。张佳帆等人考虑穿戴者在外骨骼助行机器人控制回路中的人机交互决策关系,实现了人机柔顺控制策略<sup>[11]</sup>。

### (2) 基于几何约束的外骨骼助行机器人

Jezernik 等人研制了截瘫穿戴者的外骨骼助行机器人,实现穿戴者与机器人的运动协调<sup>[12]</sup>。Kyoungchul 等人研制了一种外骨骼助行机器人,通过带动穿戴者的髋关节、膝关节和踝关节,调整穿戴者下肢的姿态,采用力矩传感器获取运动过程中的关节力矩变化<sup>[13]</sup>。Henning 等人针对脊髓损伤和中风穿戴者研制了一种可穿戴式外骨骼助行机器人<sup>[14]</sup>。郑成闻等人研制了柔性外骨骼助行机器人,能够贴合穿戴者的自然构造,减少人机干涉,改善人机交互信息<sup>[15]</sup>。

### (3) 基于人体神经反射的外骨骼助行机器人

Asa 等人从神经反射机理入手,研究人体运动的步态转换方