

仿生机械学

FANG SHENG

JI XIE XUE

- 林良明 编著
- 上海交通大学出版社

仿 生 机 械 学

林良明 编著



399380

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍了仿生机械学的研究与发展, 仿生机械的结构分析、运动模拟和优化设计, 仿生机械运动分析的数学方法, 多关节机械手的运动分析、运动控制算法的研究, 仿生机械的动力学问题, 以及仿生机械的应用举例。可供从事生物医学与康复工程、医用机器人和假肢、工业机器人和机器人手、自动化机器等研究、设计的工程技术人员和大专院校有关专业的师生参考。

仿 生 机 械 学

出 版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

排 版: 浙江上虞汤浦印刷厂

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 江苏常熟市印刷二厂

开 本: 787×1092(毫米) 1/16

印 张: 14.75

字 数: 362000

版 次: 1989年2月第1版

印 次: 1989年4月第1次

印 数: 1—1150

科 目: 194—281

ISBN7-313-00461-3/T11·511

定 价: 2.95元

前 言

近 20 年来,开拓高级自动化新领域的研究及发展机械手、机器人、假肢和各种康复医疗器械,已十分引人注目,从而也推动了仿生机械学这一门新兴边缘学科的发展,它的应用范围已扩展到相当广阔的领域。

实现高级自动化的机械,一方面要具有像生物运动器官那样精密的构件,以能从事复杂的工作,另一方面也要具有优异的智能系统,以能对运动器官进行巧妙的控制。所以,很有必要从仿生学的观点出发,对复杂的机械运动进行分析研究。

该书是在本人自 1980 年开始为研究生、大学本科生及学术讲座等多次教学所编写的讲义基础上,加上近十年来本人从事机械手、机器人和假肢技术研究工作的实践体会,并学习、吸取了国内外有关学者的研究论著、资料而修改编写定稿的,作为一种探讨,期望本书能有益于促进仿生机械学这一新兴边缘学科的发展,有助于推动我国机器人和假肢技术研究水平的提高。

本书的第四章——仿生机械的优化设计及其他若干部分内容是由卢钢老师编写的。书中引用了有关专家、学者的论著、资料。本书初稿承上海交通大学高忠华教授审阅并推荐出版。在编写过程中,得到许多同志的热情支持和帮助。作者在此一并谨表衷心感谢。

本书由上海交通大学出版社汤勤恒老师负责编辑工作,谨此致谢。

由于仿生机械学涉及的内容非常广泛,作者本人深感学识水平有限,书中一定存在不少缺点错误,敬请读者批评指正。

林良明

一九八八年七月于上海交通大学

目 录

第一章 仿生机械学概论

§ 1-1 仿生机械学及研究动向	1
§ 1-2 机器人技术概述	4
§ 1-3 康复工程与假肢技术	8

第二章 仿生机械的结构分析

§ 2-1 概述	17
§ 2-2 人体上肢的机构模型	18
§ 2-3 拟人假手的机构模型	19
§ 2-4 机械手机构与抓取误差分析	23
§ 2-5 步行机构概述	28

第三章 仿生机械运动的模拟

§ 3-1 概述	31
§ 3-2 运动轨迹模拟与曲线拟合法	33
§ 3-3 运动轨迹再现与平方逼近法	39

第四章 仿生机械的优化设计

§ 4-1 概述	43
§ 4-2 机械优化设计的基本术语和概念	43
§ 4-3 优化设计问题的几何解释	45
§ 4-4 机械优化设计的基本方法	46
§ 4-5 仿生机械优化设计实例	64

第五章 仿生机械运动分析的数学方法

§ 5-1 概述	67
§ 5-2 复数极向量法	67
§ 5-3 直角坐标系向量法	73
§ 5-4 坐标变换矩阵法	80
§ 5-5 旋转变换张量法	88
§ 5-6 对偶数矩阵法	93

第六章 多关节机械手的运动分析

§ 6-1	作复杂相对运动的点的运动分析	101
§ 6-2	用坐标变换矩阵法进行机械手的运动分析	104
§ 6-3	用三维向量和(3×3)矩阵进行机械手位置及姿态分析	111
§ 6-4	用旋转张量法进行机械手的位置及姿态分析	115
§ 6-5	拟人手指机构的运动分析	119
§ 6-6	运动位置误差计算概述	128

第七章 多关节机械手运动控制算法的研究

§ 7-1	概述	129
§ 7-2	位置控制参数求解的一般方法	129
§ 7-3	简易位置控制算法——空间单元法	143
§ 7-4	运动轨迹控制算法	146
§ 7-5	反馈补偿法	149
§ 7-6	最优化方法	155
§ 7-7	速度控制法	159

第八章 仿生机械动力学问题

§ 8-1	分析力学概述	162
§ 8-2	机构运动规律求解的等效转化法	166
§ 8-3	用欧拉角描述拟人机构动力学的数学模型	173
§ 8-4	用拉格朗日方程描述假手机构动力学的研究	189

第九章 仿生机械的应用举例

§ 9-1	工业机器人	196
§ 9-2	动力假手	211
§ 9-3	医用机器人	220
参考文献		229

第一章 仿生机械学概论

§ 1-1 仿生机械学及研究动向

一、仿生机械学的含义

本世纪 60 年代初期,出现了一门综合性的新兴边缘学科——仿生学,它是生命科学与工程科学技术相互渗透、相互结合而形成的。一般认为,仿生学(bionics)这一名词是由生物学(biology)和电子学(electronics)结合而产生的新名词,实际上它是源出于希腊语中表示生命单位的 bion 一词。

仿生学的研究对象可认为是:研究生命的结构、能量转换和信息流动的过程,并利用电子、机械技术对这些过程进行模拟,从而改善现有的和创造出崭新的现代技术装置。模拟生物的机能与构造、并应用于制造卓越的工程装置的研究历史,虽然可以追溯到古老的年代,但是直到 1948 年维纳(N. Wiener)发表了名为《控制论》的著作,高度概括地提出了在动物和机器中的通信和控制的问题之后,才为仿生学的诞生奠定了基础。

仿生学的研究,在国内外都相当活跃,所研究的课题涉及到广泛的范围,并已获得了许多进展。例如:通过对人脑机制(欲望、感情、睡眠、学习和记忆等)的研究,出现了利用计算机的人类教育系统、学习机、人工神经元、电子“脑”,进而有可能制造与人脑工作能力相同的信息处理系统——人工脑;通过研究生物眼的模型和视觉机制(如人眼、蛙眼、猫眼、鹰眼和蟹眼等),研制人工视网膜、文字读取装置、盲人假眼及应用于机器人的人工眼;通过对生物听觉模型和机制的研究(如人耳、蝙蝠和海豚、鲸鱼等的听觉器官),开发了精密雷达、水中声纳和声音识别装置等;通过声道模型的研制与开发,发展了能够模拟人的发音器官的机器;通过研究有关肌肉收缩的物理化学机制及其在运动神经指挥下的动作机制,研制了人工肌肉、电子假手、机械手、人力放大器、自动机,并在这基础上诞生了所谓控制机体的一门新技术,制造接近人类智能的机械等。不言而喻,今后除了继续进行对基本元件的开发外,将更主要地开展对系统集成技术的研究,以改进现有的技术装置,创造新型的技术系统。

由上可知,仿生学的诞生是建筑在生物科学的进步、以及与电子学的相互渗透的基础上。实际上它是一门涉及广阔领域的综合性的边缘学科,若以电子学为中心来考虑,就构成仿生电子学(bioelectronics),若以机械学为中心来考虑,则构成了仿生机械学(biomechanisms)。

仿生机械从其构词成分来看,它应该是指添加有人类智能的一类机械。为区别起见,可把传统的机械称之为一般机械。表 1.1 列出一一般机械与人类能力的比较,可以看出在物理和机械机能方面,一般机械较为优越,但在智能方面却比人类要显得特别低劣。因此,若把人-机结合起来,就有可能使一般机械进化到仿生机械。于是,可以认为仿生机械应该是既具有像生物运动器官那样精密的构件,又具有优异的智能系统,以便能进行巧妙的控制,执行复杂的动作。

表 1.1 一般机械与人类能力的比较

项 目 种 类	物 理 机 能			机 械 机 能			智 能		
	力	速 度	连续运动	持久性	可靠性	耐久性	通用性	学习能力	综合判断力
一 般 机 械	极小 极大	极小 极大	能	良好	高	好	无 (单能)	没有 或低劣	没有 或低劣
人 类	中等	低速	不能	容易疲劳	有误差 产生	不好	有 (多能、灵活)	高	高

仿生机械学是以力学或机械学作为基础的、综合生物学、医学及工程学的一门边缘学科，它贯串着研究、模拟生物系统的信息处理、运动机能和系统控制，以及在医学(如假肢、辅助装具、医用机械手和机器人等)和工程中的应用(如工业机械手、机器人等)。所以，该学科是把工程技术应用于医学、生物学，又把医学、生物学的知识应用于工程而作为目的的生物医学工程中的一个领域，它包含着对生物现象进行力学研究，对生物的运动、动作进行工程分析，并把这些成果根据社会的要求付之实用化。它的主要研究对象及其相关的领域如表 1.2 所示。

表 1.2 仿生机械学的研究对象及其相关领域

研 究 对 象		相 关 领 域
人 类	形态、机械性质	解剖学、人类学
	运动、血流动力学	生理学
	动作、作业	人体工程
	体育	体育学
	外伤、康复	整形外科、脑外科
	人工脏器	临床医学
动物		动物学
机器人		机械、电子学

从上可知，这门学科是通过机械工程方法论，把广阔范围的有关学科综合的一种边缘科学。

必须指出，上述只是过分强调生物运动器官系统的研究对象。实际上，除了运动器官系统外，还有发音器官、循环器官、消化器官等，如血管床的流体力学、胃和肠的蠕动运动分析等。所以可以预想，这门学科将来的研究对象会更加扩大。

二、仿生机械学的研究动向

虽然这门学科的分类体系目前尚未完全确定，现可从习惯分类把其各个研究动向介绍如

下。

1. 生物材料力学和机械力学

它以骨或软组织(肌肉、皮肤及与交通事故有关的脑组织等)作为对象,通过模型实验方法,测定其应力、变形特性,求出应力分布规律。此外,还可根据骨骼、肌肉系统力学的研究,对骨和肌肉的相互作用等进行分析。目前,已发表了关于脑壳、脊椎骨、骨盆、髋关节、膝关节等许多研究论文。

另外,生物的形态通过亿万年的进化,往往具有最优的评价函数,例如人体骨骼系统具有最少材料、最大强度的构造形态。这些最优评价函数是物质的数量和能量消耗量的函数,所以按这种最优论的观点来学习、模拟建造工程结构系统是很有价值的。

2. 生物流体力学

它主要涉及生物体的循环系统。虽然很早就有人把动脉中的脉动波作为弹性管中的波动传播问题进行处理分析,已有血流动力学的专著出版,但是这部分仍有许多问题未解决,特别是因为它的研究与心血管疾病关系十分密切,所以已成为一门很受关注的学科。

3. 生物运动学

生物的运动十分复杂,因为它与骨骼和肌肉的力学现象、感觉反馈及中枢控制牵连在一起。

虽然各种动物的运动或人体各种器官的运动测定与分析都是重要的基础研究,但是在仿生机械学中,特别重视人体上肢运动及步行姿态的测定与分析,因为人体上肢运动机能非常复杂,而下肢运动分析对动力学研究十分典型。另外,若能从包含有力学问题的综合观点对复杂的动作和作业进行分析,对下述的康复工程研究将有很大帮助。

4. 生物运动能量学

如同生物形态存在最优性一样,节约能量消耗量也被认为是生物中的基本原理之一。从运动能量消耗最优性的观点对生物体的运动形态、结构和功能等进行分析、研究,特别是对有关能量的传递与变换的研究,是很有意义的。

5. 康复工程学

在与仿生机械学有关的康复工程学科中,包括有如动力假肢、电动车椅子、病残者用环境控制系统等。它涉及多种学科与技术,例如对于动力假肢,只有在解决了材料、能源、控制方式、信号反馈与精密机械等各种问题之后才能完成,而且这些装置还要作为一种人-机系统进行评价、实用,所以它们通往实用化的道路是很严格的。

6. 机器人工程学

它是把生物学的知识应用于工程领域的一种典型例子,其目的是为用于工业中的省力化,以及在宇宙、海洋、原子能生产、灾害时等异常环境中帮助人类进行作业。机器人不仅要具有移动功能的人造手足,而且还要有感觉反馈功能及人工智能。目前,关于人造手、步行机械、三维物体或声音的类型识别等的研究都在积极进行。

总而言之,这门学科是涉及广阔领域的一门边缘学科。为此,本书所介绍的内容,主要是涉及仿生机械学中有关机械结构的分析,运动学和动力学分析,以及应用于康复工程、机械手及机器人技术这一部分。

§ 1-2 机器人技术概述

一、机器人的组成

机器人这个名称最早出现于 19 世纪,但是直到本世纪 50 年代后期,机器人才从科学幻想中解放出来,进入了科学技术领域。那时,在市场上出现了两种工业机器人,一种取名为 Unimate (万能自动机械),一种取名为 Versatran (通用搬运机械),并构成为今天机器人发展的基型。

一般说来,可以从两个角度对机器人进行定义。若从工程角度,认为它是属于一种自动机械,具有对环境的通用性和适应性,操作程序易变,且可实现独立的随意的运动。若从仿生学的角度,则认为它是具有近似人类相当部分功能的机械,它能执行与人类似的动作,且具有类似人的某种智能,如记忆、再现、逻辑运算、学习、判断、感知等。

机器人的组成可包括硬件和软件两大部分。从着重于对生物机能模拟的观点,高级机器人的典型硬件结构可用图 1-1 表示。

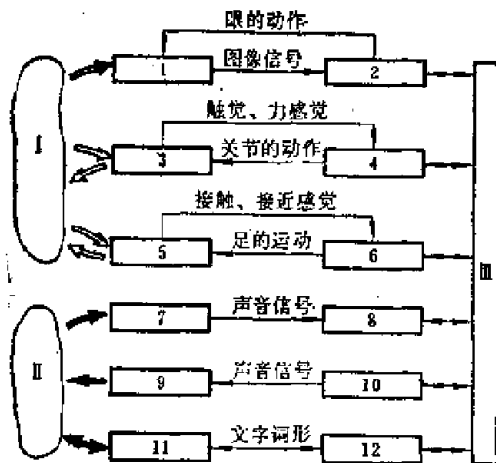


图 1-1 高级机器人的硬件结构

I—外界; II—人类; III—中央计算机;
1—电视摄像机; 2,3—预处理器; 3—机械手;
4,6—控制器; 5—机械足; 7—传声器;
9—扬声器; 10—声音发生控制器; 11—显示器;
12—显示控制器

规律,以及自己的经验等知识,并能自由地运用。

(4) 自然语言处理。指机器人能理解和接受人发出命令的语言系统,并可用这种语言进行对话。

(5) 动作控制。指机器人能按人所给予的任务要求,对机械手、足进行运动控制。

综合上述,可用图 1-2 表示。

二、机器人的发展

从 50 年代开始至今,机器人技术已得到了很大的发展。若按机器人的功能和类型的发展

为了要使机器人能够从事复杂的工作,执行与人相似的一些动作,必须要使它的机构和功能都具有很大的灵活性,即是要有像生物运动器官那种高性能的硬件,而且还要有能对运动器官进行巧妙控制的软件,把硬件和软件很好地配合起来。

机器人的软件,是人工智能研究的主要实际目标,其最根本问题有:

(1) 问题求解(对策)。指机器人能按人事先给定的条件和目标,通过定理证明和启发搜索的方法,制定计划,求解问题。

(2) 环境了解。指机器人能通过各种信息传感器对周围环境进行调查,掌握外界情况,并建立环境模型。

(3) 知识表达。这是人工智能的一个关键问题。指机器人能记忆工作环境的状态和



北林图 A00061446

过程，大体可以把它划分为以下三个时期。

第一代机器人，是使用存储器、程序控制的自动机，也即从60年代初期问世，目前能够在工业部门实用的重复型机器人，常称为工业机器人。它的动作包括示教、存贮、再现和操作四个步骤。这种机器人的典型代表就是 Unimate 和 Versatran 两种，它们的系统组成大致如图1-3所示。

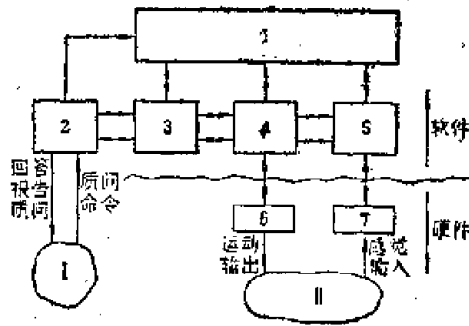


图1-2 高级机器人的软件系统

- I—人； II—环境；
- 1—知识(事实和规则、假设、外界模型)；
 2—自然语言处理； 3—问题对策；
 4—运动控制； 5—输入信息分析；
 6—效果器； 7—感觉器

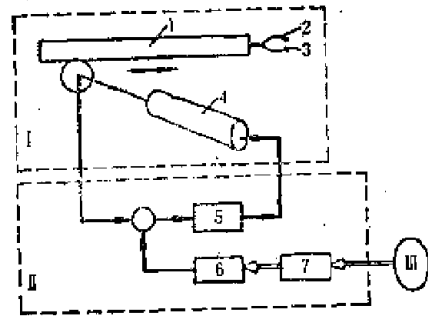


图1-3 工业机器人的系统组成

- I—机械手部； II—控制部； III—人类；
- 1—手臂； 2—手爪； 3—传感器；
 4—驱动器； 5—控制器； 6—存储器；
 7—示教器

所以，重复型机器人是通过示教输入操作程序，在存贮装置内存贮(记忆)一系列的操作内容，并利用存贮内容的再现，自动地重复地进行工作的一种通用自动搬运机械。一般认为，或多或少装有检测装置，能够根据检测结果变更工作程序，采用其他相适应动作的机器人，也包括在这一类以内。

这类机器人存在的问题有：

(1) 传感器与反馈问题。由于它一般没有触觉、力检测及反馈系统，不能用触觉去发现物体放置的位置与姿态，所以不能作出灵巧的动作。

(2) 视觉问题。由于它没有眼睛，所以不能辨别物体的种类，不能“看出”零件安装位置，也不能进行目测检查。

(3) 适应能力问题。它只能沿着预先记忆的轨迹运动，不能随环境和作业对象的变化而自动更改作业内容，几乎不能把复杂的装配作业编成程序。

(4) 运动自由度问题。一般来说，这类机器人的运动自由度较少，手的柔软性差，没有移动脚。

然而，由于这类机器人的最大优点在于能把人从危险、恶劣、单调环境的工作中解放出来，做到工业生产的省力化，所以已得到越来越广泛的应用。

第二代机器人，是指具有某些感觉功能的机器人，属于一种过渡性类型。

第三代机器人，是具有感觉识别又有某些思维功能，并由这些功能控制动作的智能机器人——具有与人类相类似智能的自动机械。它的发展主要开始于70年代，已成为开拓高级自动

化的课题,并着手应用到生产实际中。智能机器人的控制系统构成如图 1-4 所示。

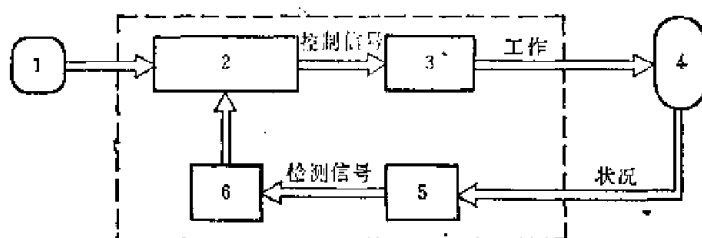


图 1-4 智能机器人的控制系统

- 1—操作人员；2—指令处理与判断装置；
3—驱动机构；4—工作对象；5—传感器；
6—识别装置

智能机器人的研究系统,大致可归纳为下列四种:

(1) 带触觉的系统。这种机器人的多关节机械手上装有触觉和力传感器,可以对不同种类的工件进行装配作业。

(2) 手-眼系统。这种机器人具有位置探索、视觉反馈等功能,能够识别对象,掌握本身周围的情况,使其与工作环境相适应。

(3) 脚-眼系统。这种机器人可根据操作人员的指令,自动识别道路,安排行动计划,具有较大的灵活性。

(4) 人-机对话系统。操作人员向机器人发出语言指令,机器人能通过本身小型电子计算机进行解读,与人对话,然后使各部分进行动作。

另外,还有一种称为操纵型机器人。实际上如从功能方面来看,它与智能机器人较为相似。这种机器人是在操作人员操纵下进行工作的作业装置。在工作进行中,人们不断地给予指令信号,所以不需要存贮编制工作程序的存贮装置。但是它具有随时反馈对象的状态,以使操纵者感知的功能。这种机器人的用途很广,功能也不相同。若从功能的方面进行分类,大致可分为如下四种:

(1) 能力扩大用机器人——用于扩大人的工作能力(放大机)。

(2) 隔离工作机器人——可在人无法生存或不适于生存的环境中进行工作(如原子能生产用机器人)。

(3) 危险工作用机器人——用于危险工作的场所(如火灾、爆炸场所)。

(4) 探查用机器人——用于宇宙和海洋开发。

总之,这种机器人主要用在各种对人有害的环境中作业,它能在操作人员操纵下进行工作,或能按照人的指令在未知环境中从事高水平的作业。一般把前者称为近距离操纵型、后者称为远距离操纵型机器人。

假如说在 60 年代,主要用示教重复型机器人来“放”与“拿”工件。那么到 70 年代,开始用智能机器人进行“寻找”与“发现”对象物。有人认为,今后的 10 年将是机器人发展的 10 年,智能机器人的时代已经到来了。

目前世界上已拥有几万台机器人,其品种和功能有多种多样,应用范围相当广阔,可归纳为:

(1) 危险环境条件作业的替代——原子能生产、宇宙、开发、空间飞行、海洋开发、军事工程(救火等)等领域。

(2) 社会福利——假手、假足、高级作业程序及语言控制的高性能假手、医疗机器人、家用机器人等。

(3) 生产自动化领域——工业机器人、装配、检验、系统管理机器人等。

高级机器人的研究方向,可分为基础学科研究与应用技术研究两个方面。在基础学科的研究中,有的从仿生学的角度对人和动物肢体的运动学和动力学进行研究,使机器人具有类似生物运动的机构;有的从生理学的角度对生物体的视觉、触觉和听觉等脑神经系统进行研究,并作出其物理模型,以便研制机器人的理想信息处理系统;有的采用电子计算机,进行机器人智能信息处理和肢体运动控制的研究等。在应用技术研究方面,主要是为了研制能适合各个领域发展需要的机器人。

从对机器人的研究内容来看,其发展动向主要有以下几个方面:

(1) 重视传感器的研究,以使机器人具有视觉、触觉和听觉等功能。

视觉传感器:

人的眼睛是“感觉之窗”。所以,使机器人具有视觉的研究是人工智能研究的一项重要内容,是智能机器人研究中最重要的一個课题。

对机器人识别眼的功能要求是:眼必须放在控制回路中,能识别运动的物体和形状复杂的物体,能进行实时信息处理。根据使用要求的不同,可分为高级视觉系统的研究和实用的简易视觉装置的研究两种。

高级视觉系统的研究,即研究能够识别一般对象物的眼睛,它主要用电子计算机、电视摄像机等硬件和相应的软件组成,就是用电视摄像管或光导纤维、激光扫描等将原始图像信息通过模/数转换为电子计算机的输入信号,再由电子计算机进行视觉信息处理。这里关键的问题是对物景分析识别方法的研究。

实用的简易视觉装置的研究,即研究用于特定用途的单能眼睛,其功能随着工作对象的不同而不同,例如用来判断对象的有无,或测定工件的位置、或按预定特征进行分类等。这种装置的功能可以用光电元件、电视摄像机等各种比较简单的装置组合来实现,所以设计方便,但是其功能有一定限度,而且为了达到一定要求,还应当对工作环境和工作内容作必要的整修。

触觉传感器:

由于这种感觉信息处理方法简单、速度快,所以也已成为机器人研究中的一个重要内容。触觉传感器的作用有三个:(i)使机器人的运动控制具有适应性;(ii)可对运移的对象进行物理性质测量和识别;(iii)为保护机器人自身和防止危险,感知异常状态。其内容通常包括下列五种:

接触觉——为了感觉是否接触到物体。

压觉——为感知用怎样的力来抓握物体,施行抓握力的控制,也可对对象物进行形状识别。

力觉——主要用于检测物体对机器人的反作用力大小,及施行握力控制。

滑觉——可根据打滑时手指负重的变化,和手指抓握面的微小非线性振动,进行推算是否抓牢物体。

接近感觉——是在碰到对象物或障碍物之前感知,以保护机器人自身或防止危险状态。

必须指出,对于感觉器官部分的研究,要注意开发具有实用性的高级技术,以进一步扩展机器人的功能,这对探索未来机器人的新技术将有重要价值,其典型代表就是关于视-触觉混合控制的双臂机器人技术的研究。

(2) 新型伺服机构的研究

新型伺服机构的重要特征就是把伺服机构和电子计算机控制紧密结合起来。机器人手和足的运动都是非线性的多变量运动系统,而且也是一个具有各种控制组合的多变量系统,所以要求伺服机构具有高度的柔软性。近年来,都采用电子计算机程序来对伺服机构进行控制动作的选择、参量的调整、控制函数的计算及操作量的决定等。此外,考虑到机器人手臂动态控制及设计方法,使其动作高速化、高精度化,也已成为一个重要的研究课题。

(3) 人工智能的研究

人工智能的研究方法主要有两种,一是模拟、研制人脑结构的微观方法,另一是模拟、实现人脑功能的宏观方法。当前正在研究的领域,如上所述,有问题求解系统、知识表达、模式识别及自然语言处理等。

(4) 微型计算机在机器人系统应用的研究

机器人感觉信息的预处理已大多利用微型计算机来进行。由于微处理机及其外围设备的发展,也使得有可能实现对伺服机构的控制。微型计算机的应用,促使机器人的控制向高性能化和智能化发展,形成机器人管理系统。

§ 1-3 康复工程与假肢技术

一、概 述

传统的医学和医疗工程总是把危及人体生命的内科或外科急病作为诊断与治疗的重点。但是,社会上还有成千上万患有无法治疗的功能障碍的残疾人。据联合国卫生组织的估计,全世界残疾人约有 4.5 亿,占总人口的 10%,预计到本世纪末将增加到 6 亿。我国的残疾人数,根据 1987 年首次全国残疾人抽样调查推算约有 5164 万人,其中听力语言残疾约 1770 万人,智力残疾约 1017 万人,肢体残疾约 755 万人,视力残疾约 755 万人,精神残疾约 194 万人,综合残疾约 673 万人。

起先,对患有肢体等骨骼运动系统功能障碍以及视觉、听觉等感觉系统功能障碍的康复,主要是通过疗养和训练等途径来开发自身残存的功能,以促使其自立,谋求回归社会。后来,特别是在第二次世界大战以后,随着控制论的发展,促进了人-机系统的结合,开始了用器械装置来代替补偿人体失去的运动和感觉功能的研究。近些年来,这些研究与超大规模集成电路、半导体传感器等现代机械电子技术相结合,有着很大发展,从而形成了一门新兴的边缘学科——康复工程学。

一般来说,应用工程技术来帮助残疾人代偿已失去的功能,大致可划分为两个范畴:一个是属于系统工程的范畴,它是通过改变或重新建立新的生活环境条件,使有功能障碍的患者得到适应和方便;另一个就是属于康复工程的范畴,它是通过综合应用精密机械、现代控制和信息处理等技术来设计高性能的器械,并确立机器和人之间的信息传递手段,起到代偿功能的作用。特别是由于高级自动化课题中机器人技术的发展,开拓了机器人在康复工程领域中应用

的广阔前景,将给残疾人带来更多的福音。

根据对功能障碍代偿的目的不同,可把代偿器械分为两大类:一类是直接安装于人体上进行代偿失去功能的器械,如各种假肢、辅助装具等;另一类是装设于人体外,且构成独立系统的、起间接代偿功能的器械,如各种环境控制装置、医疗机械手、机器人、移动机械等。但是,不论是哪一种代偿器械,都要使残疾人自身能够进行操作,所以器械的动作指令必须利用残疾人残存的机能。目前,可实际有效地利用的残存机能大致有下列三种:

(1) 人体的机械运动位移。如利用身体某一部分运动所产生的动作位移和某一部位肌肉收缩所产生的膨起位移等,这是一种基本的方法。

(2) 人体的肌肉表面动作电位。肌肉电位是人体的一种生物电,利用这种生物电作为控制信号源已有较大的发展。

(3) 呼气压力、声音信号等。虽然采用声音作为输入信号尚处于开发阶段,但它已成为一种新的发展方向,是研究医疗机器人的一个重要课题。

二、直接代偿的器械

如上所述,这种器械,如假手、假足等,都是直接安装于人体上,用来代偿失去的功能。所以,它们设计的出发点是尽可能地采用与人体一样的形状、功能和动作方式。此外,便于携带也是研制这种器械的一个共同问题。为此,运动自由度的配置、结构的轻量和小型化、以及操作方便、可靠性高,是研制这些器械的主要问题。

对于假手来说,根据空间机构学的分析,为了满足残疾人必要的日常生活动作的要求,全臂假手的自由度,除了手指外,必须有6~7个,即肩部3个、肘部1个、前臂3个自由度。但是,对于这么多的自由度数,是不可能都利用残疾人残存的机能来进行控制,而必须采用独立的控制系统。所以,应用微型计算机控制,已成为全臂电动假手研制的一个主要方向。

图1-5表示日本开发的一种全臂电动假手的研究系统,可以看出该系统包括有声音识别,集成化的数字控制方式的微型电子计算机,精密机械设计,整体机械部分的制造,轻型、高强度材料的开发,小型、轻量微型电动机的研制及电机转数的数字控制方式的开发等跨越广阔领域技术的高度利用。这个系统与工业机器人的差别,在于它是依靠残疾人本身进行人工操作,而且是一边通过本身视觉进行位置感觉反馈,一边控制假手进行动作。

显然,多自由度与轻量化的要求是相互制约的。通常假手动力装置和减速机构部分的重量往往要占重量的50~60%。为此,研制小型、高效、大输出的驱动装置是开发全臂电动假手的一个关键问题。

在控制方式中,能够按照人的意志来控制假手是一种最理想的方案。这时,控制信号源的取出可能有三种途径:(i)直接把人的中枢神经系统中的指令取出来;(ii)把通过运动神经系统的信号取出来;(iii)把运动神经系统的脉冲到达肌肉所产生的肌电位取出来。目前,采用第三种方法的研究,即肌电控制的假手,占着主导地位。

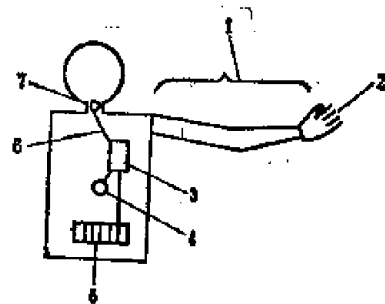


图1-5 全臂电动假手的研究系统

1—7自由度电动假手; 2—手套、臂筒;
3—微型计算机; 4—肌电控制;
5—电源; 6—人臂和假手的运动分析;
7—声音控制

现在,利用前臂残存的颞颥肌上,由于手指屈伸运动所产生的肌电位,来控制具有手指开闭的前臂假手,在实用上已经成功。图 1-6 表示这种假手的一种传动系统和控制电路框图。当假手空载作开闭动作时,电机输入通过行星减速器 1、齿形联轴节 6、双向超越离合器 7 和锥齿轮 3 输出,实现快速传动。而当假手闭合开始捏取物体时,由于负载的作用,使双向超越离合器 7 脱开、单向超越离合器 8 接合,于是电机输入通过行星减速器 1、行星减速器 2、单向超越离合器 8 和锥齿轮 3 输出,实现慢速增力传动。这两种输出的变换,是靠负载的变化而自动进行,所以该假手具有良好的机械性能。

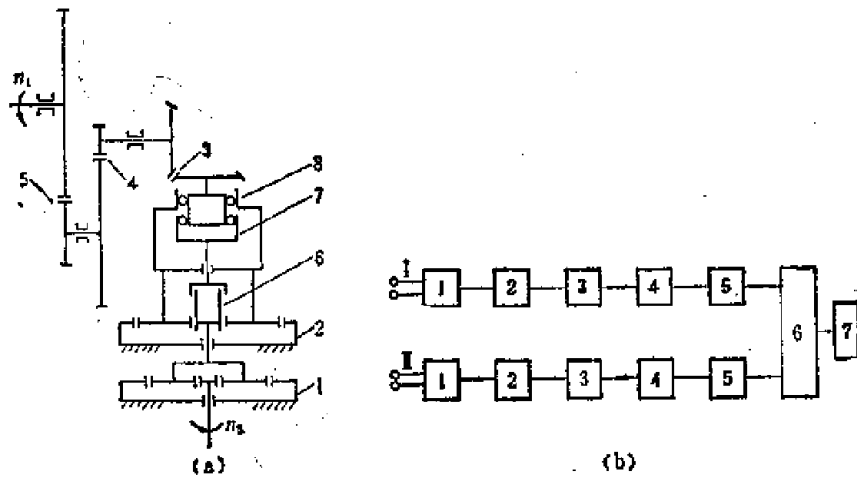


图 1-6 肌电控制前臂假手传动与控制系统

(a) 传动系统; (b) 控制电路

I—伸肌;

II—屈肌

1—电极; 2—放大; 3—整流滤波; 4—阈值电路; 5—欠压保护; 6—电子开关; 7—电动机

肌电控制前臂假手实用化的现状大致如表 1.3 所示。

表 1.3 肌电控制前臂假手实用化的现状

国 名	功 能	控制方式	感 觉	
			种 类	反 馈 方 法
中 国	抓 取	开-关	无	
日 本	抓取、握持	开-关	压 觉	电气刺激
苏 联	抓 取	开-关	无	
西 德	抓 取	开-关	无	
意 大 利	抓 取	开-关 比例切换	压觉、位置觉	机械刺激
澳 大 利 亚	抓 取	开-关 比例切换	无	
加 拿 大	抓 取	开-关	无	
英 国	抓 取	比例切换	压 觉	反馈到系统
美 国	抓 取	开-关	无	

但是,随着假手自由度数的增多,残疾人相对应部位的肌电控制信号源就不能满足。所以尽管已对多自由度动力假手作了多次研究开发,然而可供实用的还很少。在构成多自由度动力假手的控制系统上,最值得注意的问题是要研制出对使用者不需通过特别学习训练就能操作假手的系统。目前已试验出一种利用残疾人存在的幻肢感觉来进行手部控制的方式,该方式是在残端的适当部位上安装多组电极,则对应于几种不同的幻肢手部的运动,可产生不同的肌电图像,那么通过肌电信号处理及图像识别方法,把这几种图像分离,便可用来进行控制。

总之,由于手部动作的大部分是依靠前臂的肌肉及其肌腱来进行的,所以前臂的肌电中包含着手部动作的大部分信息,可以按照人的意志来控制前臂假手。但是,在全臂假手中情况则不一样,由于实际上可以得到的相应控制信息极少,所以不能采用上述方法。不过有人认为,决定上肢的位置时,上肢和锁骨起着协调作用,可以把上肢看作为锁骨的延伸物,并研究了通过肩部上下、前后和左右方向的动作在有关肌肉上所产生的肌电位,利用来控制手部上下、前后和左右动作方式的方案。

图 1-7 表示一种用电刺激作为选择假手动作类型的定时信号、用肌电开关来控制假手动作方向的多自由度假手(上臂、肩假手)的控制信号系统组成。该方案经临床实践,具有实用价值(日本早稻田大学研制)。

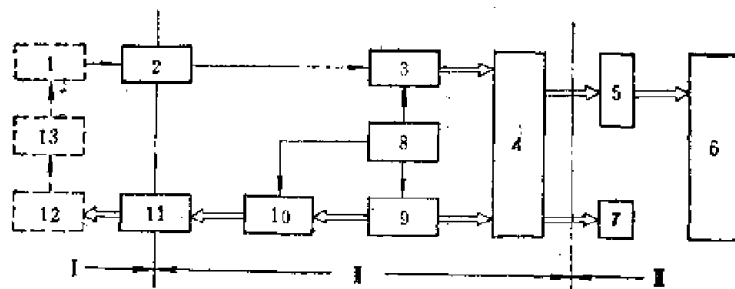


图 1-7 多自由度假手肌电控制信号系统组成

- 1—肌电; 2—表面电极; 3—肌电开关; 4—动作方向决定; 5—假手控制; 6—多自由度假手; 7—监控器;
8—刺激定时控制; 9—动作方向切换; 10、12—电刺激; 11—刺激电极; 13—判断

为了研制出具有实用化的多自由度上臂假手,日本东京电机大学开发了一种简易形电动假手(见图 1-8)。该假手是利用残疾人的上肢残端操作接触传感器的方法来实现手指开闭、腕部旋转和肘部屈伸三种运动,效果良好。这种不按照人的意志控制假手的方式还有其他类型,

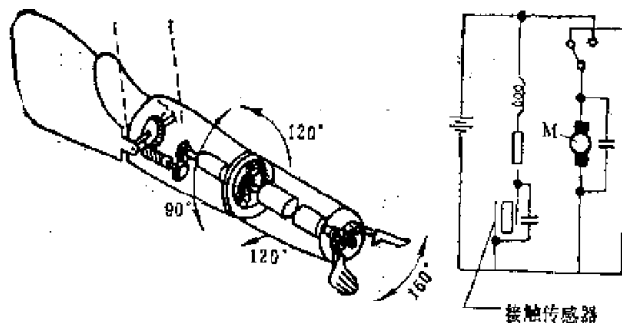


图 1-8 简易形电动假手及电路