



作者: 聂余满

基于力测试的掰手腕机器人系统设计

Design of Arm Wrestling Robot Based on Force Testing

(中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031) 聂余满, 宋全军, 申 飞, 余 永, 葛运建

摘要: 在分析比较当前同类机器系统研究进展的基础上, 介绍了 ROBOAM-I 系统的功能和设计原理, 详细分析了机器人手臂部分的结构和力测试功能的实现。

关键词: 掰手腕; 力信息; 娱乐机器人; 结构设计

Abstract: Based on investigation of development of the recent similar robotic systems, the paper presents the characters and the design principles of the ROBOAM-I. The structure of the mechanical arm with the force testing function is also described in detail.

Key words: Arm wrestling; Force information; Entertainment robot; Mechanism design

1 引言

掰手腕也称掰手臂或印度式摔跤, 是一种比臂力和手腕力的运动, 自 20 世纪 50 ~ 60 年代开始出现地区性和国际性比赛。常见的赛法为: 两人隔桌相对而坐, 伸出右手, 肘置桌面, 两手掌相对成反握式, 各紧握对方大拇指根部, 两臂成垂直交叉, 裁判下令后即开始发力。

该项运动除中国大陆外, 在北美、欧洲、韩国都非常流行, 在纽约还设有该项运动的专门协会 (NYAWA), 每年在美国加州举行世界锦标赛。

随着智能机器人技术的发展和普及, 也开始出现各种机器装置来模拟真人进行比赛。早期出现的通常是液压驱动类型, 如美国、韩国和日本的一些专利^[1]。但是由于液压传动本身存在体积过大、维护繁琐、灵活性差等缺点, 目前已鲜有应用。在 1994 年, 日本的 Taihei Giken Kogyo 等人设计了一种电气驱动的掰手腕器械并取得专利^[2]。1999 年美国宇航局 (NASA) 的 Yoseph Bar-Cohen 使用人工肌肉制造出了能掰手腕的机器臂 (如图 1 所示), 并和真人进行了比赛^[3]。2004 年韩国 Konkuk 大学的 Chul-Goo Kang 等人提出一种为老人娱乐使用的掰手腕机器人设计方案, 该机器人装有力矩传感器, 并可以根据比赛情形自主决定力量等级^[4]。目前还有学者基于掰手腕机器人, 从图象处理、虚拟现实和智能控制等多个方面进行研究^[5,6,7]。

实用的娱乐机器人, 要能够象人类那样安全可靠地进行比赛, 为便于普及还需要控制成本、方便制造。为科技馆设计的掰

腕机器人 ROBOAM-I, 不仅具有人类的外形、手部柔软灵活, 还可以选择比赛的力量等级、测试比赛者的力量大小。该机器人系统已成功应用于安徽省科技馆, 厦门市科技馆和中国科学院合肥物质科学研究院科普馆, 和机器人样机的比赛情景如图 2 所示。



图 1 人工肌肉机器臂



图 2 与 ROBOAM-I 比赛实况

2 机器人系统设计

2.1 系统构成

整个掰手腕机器人系统包括人体模型, 机械手臂和头部的驱动模块, 工控机, 摄像机和一台打印机。摄像机用于采集比赛实况图象, 力测试结果可以打印输出。机器人主体为人体模型, 其中右手臂用于比赛, 肘部关节支撑在比赛桌面上。机械手臂的腕部和肘部加工有专用传感器, 用来获取力信息。为增加娱乐性, 除机械手臂的驱动外在机器人头部还安置有驱动机构, 机器人比赛胜出时会摇头并用声音给出提示, 败北时则点头发出惊叹。

2.2 手臂设计

在通常的比赛规则下, 比赛时手部握持形状基本不变, 而小臂在一个锥平面内运动, 且对抗时手腕会与小臂成一定的扭转角度, 并有一定弯动。因此在机器人 ROBOAM-I 中, 手部使用固定钢结构骨架上覆盖软质橡胶皮肤, 并灌封有机硅凝胶; 腕部通过轴与小臂相连, 通过挡块和外部弹性片限制转动范围; 为减少外界振动的干扰、方便力传感器的弹性体设计, 小臂和肘部使用合金圆钢柱。

同时为了使机器人手臂更符合人体比赛习惯, 对多组不同人比赛的手臂位置和姿势进行了测量。根据测量统计结果, 取机械手臂的手掌与小臂扭曲角度为 20° , 掌心到肘部支撑点的长度为 350mm, 小臂与比赛桌面安装夹角为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。若参加比赛者手臂与机械手高度不匹配, 可以在自己的肘部下方添加或者减少垫板。但是系统目前尚未专门设计和左撇子的比赛功能。

2.3 驱动机构

收稿日期: 2005 - 08 - 13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60343006, 60475005)

作者简介: 聂余满 (1981 -), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 研究方向为机器人控制, 机器人感知, 信息获取; 宋全军 (1972 -), 男, 安徽宿州人, 博士研究生, 研究方向为仿生机器人, 数字运动员, 信息获取; 葛运建 (1947 -), 男, 山东蓬莱人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为体育机器人, 机器人控制, 信息获取。



根据人体生物力学数据,正常人上肢最大爆发力一般不超过120kg。若不计机械手臂自重等因素的影响,折算到肘部的驱动力矩不能小于420Nm,即驱动模块所需要的最大输出力矩。

掰手腕机器人采用的是电气驱动方式,通过上位机控制电机的速度和出力来控制机械手臂的动作。考虑到比赛时电机低速运行且需要频繁正反转,驱动模块选择了控制性能良好的交流伺服电机。为降低电机输出转速、增大输出力矩,配置了行星齿轮减速箱。电机额定功率750W、转速2000rpm,减速箱速比为216,传动效率68%。整个驱动模块的有效输出力矩可达到500Nm。

电机轴连接有编码器,上位机通过向底层驱动器发送控制命令来改变电机的转速和转向。

2.4 安全保护

娱乐机器人作为和人体直接交互的设备,必须安全可靠。设计时除机械部分安置限位保护外,在控制算法和电路设计上也充分考虑了安全性能。

3 力测试的实现

根据掰手腕机器人力测试的需要,在机器人肘部和腕部分别加工有专用2DOF力传感器。在比赛中机器人系统通过比较力量大小来实施力控制,比赛结束后根据记录数据给出比赛过程的力变化曲线和最大值。

3.1 结构设计

传感器可以设计为组合结构,也可以直接在机械手臂上加工形成整体。由于前一种方式往往存在诸如紧固松动、焊接变形、滑动位移等不利因素,影响传感器的重复精度和可靠性,故采用后一种方案。另外在机器人组装、搬运和比赛现场,还需要考虑密封、防潮、防腐蚀和抗冲击等因素。综合以上考虑,传感器采用圆筒结构上加工凹面,在机械臂上形成内嵌的4面体结构形式。

根据设计需要,首先需要确定机械臂上弹性体的位置。机械臂的材料为40Cr钢,弹性模量为218GPa,直径为50mm。通过有限元分析机械臂受力后产生的应变大小,确定肘部力传感器的位置如图4所示,图3为分析软件ANSYS的界面。图4中钢体的四个内嵌平面即为贴片处,为增加可靠性在每个面上分布4个电阻应变片,一共是4个全桥电路。

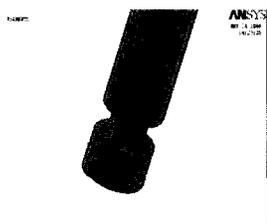


图3 肘部的应变分析

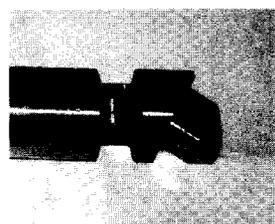


图4 肘部实物图

由于腕部和肘部传感器的结构和原理一致,以下只以肘部为例进行分析。

3.2 获取方法

肘部传感器应变片的分布如图5所示,右图为其其中一组桥

路X1~X4所对应的电路。为保证传感器可靠性,4组全桥中实际只使用两组(X1~X4, Y1~Y4),另两组(BX1~BX4, BY1~BY4)为备用桥路。从贴片的分布还可以看出,备用桥路和实际使用的桥路呈对称结构,便于传感器标定和出现故障后的替换。

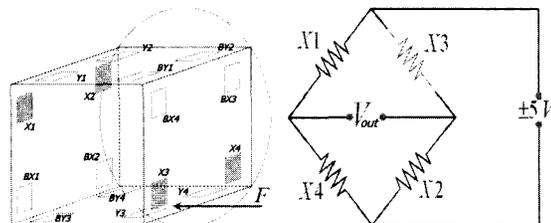


图5 贴片位置和电路示意图

3.3 补偿和算法

信号处理电路包括肘部和腕部4路电桥信号的零点调整、放大和电源的引入。为保持传感器稳定、精确地工作,还需要对初始不平衡、温度、非线性和输出灵敏系数等进行补偿和调整。如在应变计测量电桥图5中,满足 $R_{X1} \times R_{X3} = R_{X2} \times R_{X4}$ 时电桥才会平衡,但各桥臂的电阻总会有一定的偏差,为使电桥平衡,使用电阻率、电阻温度系数和应变灵敏系数都比较低的串联电阻进行补偿。

在比赛开始时计算机即对传感器输出信号进行采样并进行保存,取不小于最大值12%的最长的时间段为保持时间,分别计算最大腕力、最大臂力以及各自的保持时间。根据对位置信号的差分,还可以得到比赛时的速度,从而利用力和速度的乘积得到爆发力大小。控制系统的力采样周期为2ms,控制周期为10ms。

4 实验结果和分析

为检验系统的性能和整体结构的合理性,分别进行了检验系统跟踪实时性的阶跃响应实验和验证胜负规则有效性的真人比赛实验。以下仅给出真人实验的过程和讨论。

实验方式为比赛者隔桌相对而坐,使用右手进行比赛。典型实验组合见表1,共分3项。其中甲和乙为参加测试的两名儿童,其中甲的手臂力量较大,乙的较小。首先是甲与乙进行比赛,决出定性胜负,再分别与机器人比赛,给出力信息的量化记录。实验结果如表1所示,机器人臂力设定等级为50kg,力信息记录时间为12s。

表1 测试实验

序号	组合	胜出者	臂力(单位:千克)
1	甲 vs 乙	甲	甲 > 乙
2	甲 vs Roboam-I	甲	53.6 > 50
3	乙 vs Roboam-I	Roboam-I	42.7 < 50

实验2、3的力测试曲线分别如图6和图7所示。其中峰值较大者为臂力曲线,较小者为腕力曲线,记录时间为12秒。其中A(B)的最大臂力53.6(42.7)千克,最大腕力44.1(25.2)千克,手臂爆发力222.3(368.6),手腕爆发力187.7(227.4),最大臂力持续时间3.5(2.8)秒,最大腕力持续时间1.4(1.9)秒。

从图6和7中的变化趋势还可以看出,A在4秒后就取得绝

FORUM 热点论坛 专栏

对优势，而B在比赛中则僵持较长时间。实验证明了力测试系统的有效性，并且表明机器人能够根据力设定值的大小决定比赛胜负。

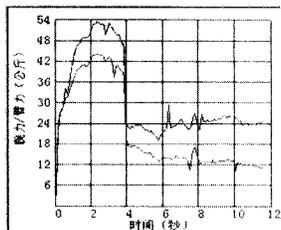


图6 测试者A的力曲线

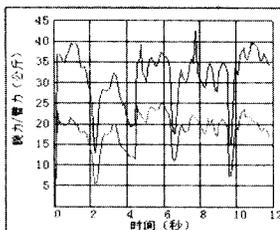


图7 测试者B的力曲线

但是从图6也可以看出，比赛者在取得相对优势后机器人

趋败过于明显，与真人比赛情形尚有差别。这是因为结构设计和控制策略中忽略了臂重等因素，使得机器臂在倾斜角度变化中自身重量影响过大。此外系统胜负策略中默认前提为臂力大于腕力，并仅根据臂力大小来决定胜负，该原则是否合理也需要进一步研究。

5 结语

在掰手腕机器人的设计中，力信息获取是整个系统的重要组成部分，而采用专用力传感器的测量方式是获取力信息的有效方法。本文介绍了掰手腕机器人ROBOAM-I的系统结构，给出了力测试的实现原理。测试实验和实验结果表明，机器人力传感系统有效地反映了比赛中的力变化过程、胜负结果基本符合实际情况。

在应用中笔者也发现，机器人ROBOAM-I系统的比赛交互性、智能化水平以及操纵界面的设计等方面还存在不完善之处，需要在下一代机器人ROBOAM-II系统的开发中逐步解决。研制具有力测试功能的此类智能机器人在国内尚未见报道，此设计为人机交互中的力信息获取提供了可操作的实例，也为下一代机器人的完善和改进奠定了基础。

参考文献：

- [1] John M, Hobby Jr. "Arm wrestling device"[P]. US: patent no.3947025, 1976.
- [2] Taihei Giken Kogyo KK. "Hand wrestling game machine"[P]. Japan: patent no.JP6315544, 1994.
- [3] Yoseph Bar-Cohen. Electroactive Polymers as Artificial Muscles - Reality and Challenges[A]. Proceedings of the 42nd AIAA Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference (SDM), Gossamer Spacecraft Forum (GSF)[C]. USA: IEEE, 2001. 16-19.
- [4] Chul-Goo Kang, Eun-Jun Park, Ik-Xu Son, Young-Wo Kim, Ki-Seon Ryu. Conceptual design for robotic arm wrestling Robotics[A]. IEEE Conference on Automation and Mechatronics[C]. USA: IEEE, 2004. 1072-1076.
- [5] Kano K, Kitayama S, Yamamoto N, Tsutsumi K. Design and prototype of a remote arm-wrestling system [A]. 2004 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics [C]. USA: IEEE, 2002. 2985-2990.
- [6] Kamohara S, Takagi H., Takeda T. Control rule acquisition for an arm wrestling robot[A]. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 'Computational Cybernetics and Simulation'[C]. USA: IEEE, 1997. 4227-4231.
- [7] Yamada T, Watanabe T. Dynamic analysis of facial color by using the force feedback system for virtual arm wrestling[A]. Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics [C]. USA: AIM, 2003. 765-770.

ISSN 1000-8829
CN 11-1764/TB

测控技术

滴水成河

专业报道

工控机及自动化控制系统，现场总线与网络...

智能化仪器仪表及传感器，VXI及PXI技术...

测量测试与检测系统及设备，工业组态软件...

数采与通信，仿真与虚拟现实，机电一体化...

欢迎广大订阅

欢迎广大订阅

欢迎广大订阅

报刊代号：82-638

全年订价：300元

