

文章编号:1004-1478(2011)01-0107-04

手脚融合多足机器人控制系统设计

张欲晓, 杨志林, 王新杰, 曾显群

(郑州轻工业学院 机电工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:针对手脚融合多足机器人关节多、控制复杂的特点,设计并实现了一种基于CANopen网络的分布式运动控制系统。该系统采用专用的运动控制器和数字增量型编码器实现了对机器人各关节的闭环控制。通过CANopen网络建立关节间的通信模型,增强了控制系统的可重构性和容错能力,有效地支持了多关节的实时联动。利用基于CMO/COM模型的软件体系结构对每个关节电机进行软件控制,采取分层思想设计了CANopen通信程序。实验结果表明,运动控制系统能够稳定可靠地工作。

关键词:手脚融合;多足机器人;控制系统;闭环控制;CANopen;CMO;COM

中图分类号:TP242.6

文献标志码:A

Control system design for multi-legged robot with hand-fused foot

ZHANG Yu-xiao, YANG Zhi-lin, WANG Xin-jie, ZENG Xian-qun

(College of Mech. and Electr. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Aiming at robot characteristics of complex control for so many joints, a distributed motion control system based on CANopen network was designed and realized. Dedicated motion controller and digital incremental encoder were used to realize closed loop control to each joint. CANopen network was used to build a communication model among all joints, which strengthened reconfigurability and fault tolerance of the control system and supported real time multi-jointed linkage. Software architecture based on CMO/COM was used to achieve software control for each joint motor. Layer idea was used to design CANopen communication program for the whole system. Experimental results prove that hardware and software of this motion control system can work steadily and reliably.

Key words: hand-fused foot; multi-legged robot; control system; closed loop control; CANopen; copley motion object; component object model

0 引言

手脚融合多足机器人是在现有多足机器人的腿机构上复合手(脚)及手指(脚趾)机构,使其具有手和脚的功能,利用手指(脚趾)实现抓取等作业,以扩展多足机器人的功能。手脚融合多足机器人具

有的模块化特点要求其控制系统可扩展,且具有较高的实时性。国际上很多学者对机器人的运动控制系统进行了研究。H. Minamisawa等^[1]研究的四足机器人采用自主式分散控制策略,中央控制器产生与各个腿单元运动同步的时钟信号,基于该时钟信号,腿单元控制器可以独立地控制机器人腿的运

收稿日期:2010-12-06

基金项目:国家自然科学基金项目(50875246)

作者简介:张欲晓(1970—),男,河南省鹤壁市人,郑州轻工业学院讲师,博士,主要研究方向为精密仪器及机械。

动. Guido La Rosa 等^[2]研究的爬壁机器人采用主从控制方式, PC 机提供用户界面, 本地控制器负责各个腿单元的吸附和爬行. T. Zielinska 等^[3]提出了分层控制的概念, 处于控制系统最底层的是关节控制, 从下往上的几层分别负责逆运动学的计算、腿部末端轨迹的生成、步态规划以及机身运动轨迹的生成. M. Christophe 等^[4]采用生物激励神经元控制器对四足机器人进行运动控制. B. Subudhi 等^[5]用混合模糊神经方法研究了多关节灵活机械手的运动控制.

目前, 手脚融合多足机器人的控制普遍采用上、下位机二级分布式结构: 上位机负责整个系统的管理以及运动学计算、轨迹规划等; 下位机由多 CPU 组成, 每个 CPU 控制 1 个关节运动^[6]. 本文拟针对手脚融合多足机器人的自身特点, 设计并实现一种基于 CANopen 网络的运动控制系统.

1 手脚融合多足机器人腿部机构

手脚融合多足机器人采用模块化设计, 其腿部结构如图 1 所示.

每条腿就是一个独立的模块, 包括髌关节、大腿关节和小腿关节 3 个驱动关节. 为了达到手脚融合的设计目标, 在一条腿上融合具有脚(手)及脚趾(手指)机构的小腿机构, 小腿机构有 2 个自由度, 可以实现抓取和行走. 在多足机器人行走过程中, 手脚融合机构被锁死, 这时候它变成一个普通的多足步行机器人.

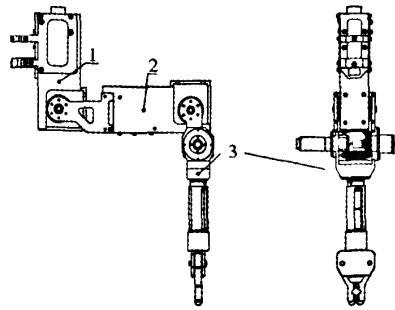
2 控制系统总体结构

手脚融合功能多足步行机器人采用模块化设计, 要求每个模块拥有独立的自治能力, 并与其他模块互不干扰^[7-8]. 因此, 对机器人的控制采用基于 CANopen 的分布式分层递阶控制系统. 从图 2 所示的整体结构可以看出, 该系统主要分为组织级、协调级和执行级 3 个层次.

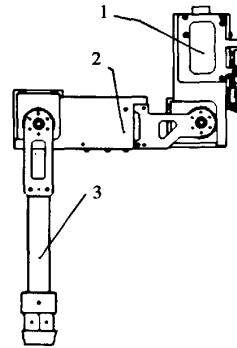
1) 组织级通过监控机器人所处的环境, 对机器人进行实时控制、路径规划、正逆运动学分析和步态生成等.

2) 协调级将存储从 PC 机(组织级)获得的运动控制指令, 然后将其转发给各个关节电机控制器.

3) 执行级负责接收协调级传来的控制指令并对其进行分析和编译, 而后传递给关节电机.



a) 手脚融合的腿机构



b) 普通的腿部结构

1. 髌关节; 2. 大腿关节; 3. 小腿关节

图 1 手脚融合多足机器人腿部结构

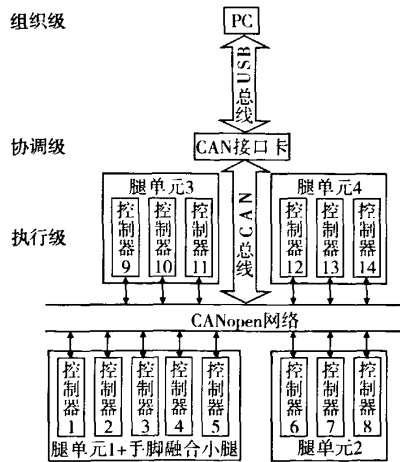


图 2 机器人控制系统的整体结构图

执行级由 4 个相互独立的模块化腿单元组成, 每个腿单元又分别含有 3 个关节控制单元, 为了实现脚(手)融合的设计目标, 在腿单元 1 上融合了具有脚趾(手指)机构的小腿单元. 所以, 整套控制系统共需要 14 个独立的关节控制器.

控制系统工作过程如下: PC 作为控制系统的最

高层,综合接收到的信息,通过逆运动学分析得到各关节运动参数,然后向 CAN 接口卡发送控制命令;CAN 接口卡对接收到的信息进行过滤和缓冲处理后,分送到各个关节控制器,关节控制器根据接收到的命令控制关节转动;通过各关节的协调运动,机器人可以按指定的方式运动到目标位置.

3 硬件设计

3.1 CAN 接口卡

CAN 接口转接卡处于控制系统的协调级,主要负责连接组织级和执行级,存储组织级发来的控制命令并转发给执行级,起协调作用. 本系统采用 USB-TO-CAN Compact,在它内部集成了微控制器, RAM,Flash 和 CAN 控制器 SJA1000. 在具有高发送速率和高总线负载的 CAN 网络中,微控制器可以可靠地、无损失地发送和接收信息. SJA1000 支持 CAN2.0A 和 CAN2.0B 2 种协议,能够有效地发送和接收数据.

3.2 关节控制器

为了使控制系统更加稳定,开发周期更短,选择 Accelnet 系列的电机专用控制器 ACJ—055—18,它是一个紧凑的、模块化的直流伺服驱动器. 通过它可以进行 3 种嵌套的闭环控制,即位置环控制、速度环控制和电流环控制. 3 种控制环控制电机在 3 种相关的操作模式下运行,其原理如图 3 所示. 位置环驱动嵌套的速度环,嵌套的速度环驱动嵌套的电流环,嵌套的电流环产生 PWM 信号,驱动电机转动. 通过电机端装配的编码器可以实时地反馈电机转动的实际位置、速度以及电流,从而构成一套集位置、速度、电流为一体的闭环控制系统.

4 软件设计

软件设计主要包括电机控制和 CANopen 网络通信 2 部分.

电机控制部分采用的是 ACJ—55 电机控制器提供的 CMO(copley motion objects)底层动态链接库函数. 在 CANopen 网络中,需要为电机控制器编写基于 Windows 的控制软件.

通过 CMO 可以直接利用控制器的 CANopen 功能,简化控制软件的编写. CMO 用 COM(microsoft component object model)结构建立,CMO 动态链接库函数在机器人关节控制系统结构中的位置如图 4 所示,它起到了连接 Windows PC 与 ACJ—55 控制器

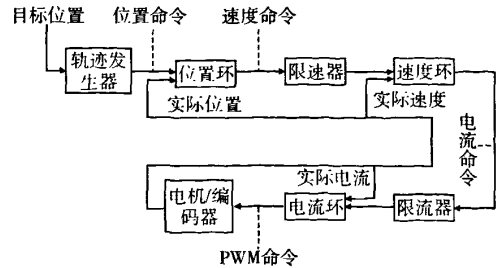


图 3 闭环控制总体原理图

的作用,把上位机的控制命令编译成电机运动指令,从而使机器人完成一定动作. 图 5 为机器人关节控制系统流程图.

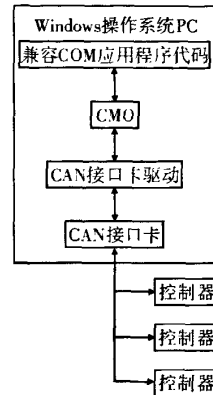


图 4 CMO/COM 模型

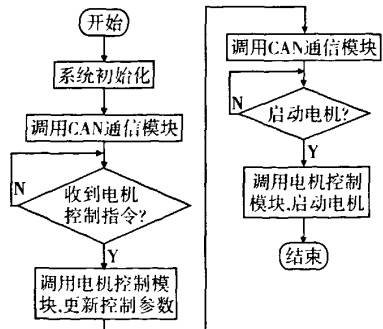


图 5 机器人关节控制系统流程图

CANopen 通信程序设计采取分层设计的思想. 最底层利用 SDO(服务数据对象)进行参数配置(如设置波特率、验收代码滤波器 ACR 以及设置输出方式等). 中间层通过 CAN 独立控制器 SJA1000 调用底层函数进行参数初始化,并利用 PDO(进程数据对象)进行实时数据的发送和接收. 最高层通过调用中间层的一系列函数来完成 CAN 总线的通信. 在进行数据发送和接收时,采取查询方式.

5 实验研究

图6所示为机器人演示的抓取并转移目标物的动作过程.多次实验结果表明,基于CANopen网络的分布式控制系统能够对机器人各关节进行比较精确的协调控制,完成多关节联动,实现手脚融合.

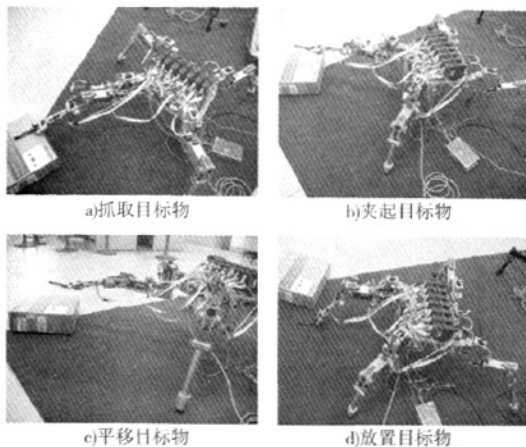


图6 机器人抓取并转移目标物的动作过程

6 结论

针对手脚融合多足机器人关节多、控制复杂等特点,设计并实现了基于CANopen网络的分布式控制系统.该系统采用模块化的设计思想,各模块和各关节通过CANopen网络相互通信,实现了多关节协调运动,增强了控制系统的可重构性和容错能力.采用分层递阶控制,使该系统的控制精度逐级增加,获得了较好的一致性和扩展性.

参考文献:

- [1] Minamisawa H, Kawabata K, Po Chih Lin, et al. Leg synchronization by distributed control structure [C]//AMC'96 - MIE Proce, Mie: Inst of Electr and Electr Eng, 1996: 237 - 240.
- [2] Guido La Rosa, Michele Messina, Giovanni Muscato, et al. A low-cost lightweight climbing robot for the inspection of vertical surfaces [J]. Mechatronics, 2002, 12(1): 71.
- [3] Zielinska T. Control system of walking robot [C]//2001 Proce of the Second Int Workshop on Robot Motion and Control, Bukowy: [s. n.], 2001: 225 - 230.
- [4] Christophe M, Hiroshi K, Kunikatsu T. Biologically inspired neural controller for quadruped [C]//IEEE Int Conf on Robotics and Biomimetics, Sanya: Concentration Banding Infor, 2007: 1212 - 1217.
- [5] Subudhi B, Morris A S. Soft computing methods applied to the control of a flexible robot manipulator [J]. Applied Soft Comp, 2009, 9(1): 149.
- [6] 范永, 谭民. 机器人控制器的现状及展望 [J]. 机器人, 1999, 21(1): 75.
- [7] 陈学东, 周明浩. 模块化多足步行机器人的运动控制系统研究 [J]. 中国机械工程, 2006, 17(10): 1071.
- [8] Alberto Brunete, Jose Emilio Torre, Miguel Hernand. Multi-drive control for in-pipe snakelike heterogeneous modular micro-robots [C]//IEEE Int Conf on Robotics and Biomimetics, Sanya: Concentration Banding Infor, 2007: 490 - 495.
- [9] 曹庆年, 赵博, 孟开元. CANopen 协议在工业控制网络中的应用 [J]. 西安石油大学学报, 2009, 24(4): 75.