

基于 Vision Card 的机器人舵机高精度数字控制技术

阎文亮

(河北地质职工大学 继续教育中心, 石家庄 050081)

摘要: 针对目前机器人舵机控制技术调控性能差, 工作过程不稳定的问题, 引入 Vision Card 研究了一种新的高精度数字控制技术; 同时分析 Vision Card 工作原理和机器人舵机控制原理, 将二者融合, 从视觉角度完成舵机控制; 分别针对直流电机、驱动器和反馈电位器进行控制, 通过计算直流电机的传递函数、反馈电位器上的电压和总行程, 得到脉冲宽度调制 (PWM) 的电脉冲, 利用得到的电脉冲来控制舵机; 为验证控制技术有效性, 与传统的开环控制技术、PID 控制技术和模糊 PID 控制技术进行实验对比, 结果表明, 研究的控制技术稳定性高, 调控性能好, 可以有效提高机器人舵机的工作效率, 保障机器人舵机的工作质量。

关键词: Vision Card; 机器人; 高精度控制技术; 数字控制技术

High Precision Digital Control Technology of Robot Rudder Based on Vision Card

Yan Wenliang

(Hebei Geological Workers University, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor control performance and unstable working process of robot actuator control technology, a new high precision digital control technology is studied by introducing Vision Card. At the same time, the working principle of Vision Card and the control principle of robot rudder are analyzed, and the two principles are integrated to complete the control of the rudder from the visual angle. The DC motor, driver and feedback potentiometer are controlled respectively. By calculating the transfer function of the DC motor, the voltage on the feedback potentiometer and the total stroke, the pulse width modulation (PWM) electric pulse is obtained, and the obtained electric pulse is used to control the steering gear. In order to verify the effectiveness of the control technology, the experimental comparison with traditional open-loop control technology, PID control technology and fuzzy-PID control technology shows that the control technology studied has high stability and good control performance, which can effectively improve the efficiency of the robot rudder and ensure the quality of the robot rudder.

Keywords: vision card; robot; high-precision control technology; digital control technology

0 引言

舵机英文翻译为 Servo, 由直流电机、减速齿轮齿、传感器、控制电路组成, 舵机从实质上讲是一套自动控制系统, 具有稳定输出的性能、利用发送的信号制定输出轴旋转角度, 所有的舵机最大旋转角度都能够达到 180° 。舵机主要包括 5 个部分: 舵盘、减速齿轮组、位置反馈电位器、直流电机和控制电路。舵机在机器人中有广泛的应用, 舵机的自由度控制水平决定着机械人自由度控制水平, 自由度越多, 机械人可以操作的复杂动作就越多, 通用性越好, 但是越复杂的结构, 花费的成本越高, 维修起来也越困难^[1]。

舵机中一般拥有三根引线, 分别是电源引线、地引线和控制信号引线, 通过脉冲宽度 (以下简称脉宽) 控制舵

机的输出转角, 在确定脉宽控制信号后, 机器人舵机就会转到固定的角位置, 并且保证在该位置上固定不变, 在一定范围内受到外力冲击, 也可以稳定在该位置保持不变^[2]。每个舵机都需要单独的 PWM 信号来控制, 即使是一个小型关节机器人都需要十几个舵机、多个芯片共同操控, 硬件成分复杂, 软件编写十分困难^[3]。

Vision Card 中文翻译为视觉卡, 通过先进的视觉感知技术, 在复杂背景中或高动态光照条件下提取目标图像, 并且完成识别、分类等一系列工作。Vision Card 具有功耗率低、占地面积小、处理能力强等优点, 符合智能设备对广域、移动、便携等方面的要求。目前 Vision Card 已经广泛应用在机器人、安防、自动驾驶、无人机等领域^[4]。

综上所述, 本文基于 Vision Card 研究了一种新的机器人舵机高精度数字控制技术, 介绍了控制原理, 针对舵机的每一个组成成分进行控制, 通过实验对控制技术有效性进行验证。

收稿日期: 2019-05-29; 修回日期: 2019-06-14。

作者简介: 阎文亮(1981-), 男, 河北南宫人, 大学本科, 副高级讲师, 主要从事计算机信息管理方向的研究。

1 视觉卡与控制技术原理

舵机,作为一种角度伺服的驱动装置,在对它进行控制时,需要针对不同的角度进行调节,一般通过控制器、直流电机、减速传送机制等多个模块构成,如图 1 所示。

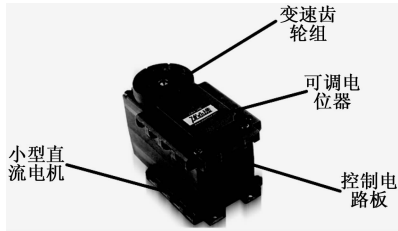


图 1 机器人舵机组成模块

当向舵机传入信号后,舵机会自动旋转,直到达到要求的角度,如果舵机输出的角度与最后的控制角度存在误差,则反馈电位器就会通过反馈信号将这一误差上传到控制器中,控制器在分析误差大小后,生成误差信号。通常生成的误差信号强度较小,分析起来相对困难,因此需要通过驱动器进行放大,最后使用驱动直流电机完成旋转操作^[5]。如果误差信号的电压为正,则驱动器也会向直流电动机加入正向电压,电机的旋转方向为正方向;如果误差信号的电压为负,则驱动器会向直流电动机加入负向电压,电机的旋转方向为反方向。反复调整,直到确保机器人舵机的旋转角度与预计角度相同,误差信号为 0 为止。机器人舵机高精度数字控制技术工作原理如图 2 所示。

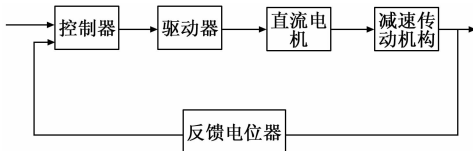


图 2 机器人舵机高精度数字控制技术工作原理

视觉卡 (Vision Card) 是嵌入式人工智能感知平台的延伸,在机器人舵机控制中使用 Vision Card 后,机器人可以同时完成人脸识别、物体识别、导航、自动故障等多效功能,智能视觉设备发挥的效力也更大,提高使用效率。

Vision Card 芯片不仅可以提高机器人舵机中的自由度,而且可以使算法更快地在计算平台上移植。本文使用的 Vision Card 芯片时第二代英伟达芯片,该芯片的体积仅有一元硬币大小,是第一代芯片体积的 1/10,处理速度高达 20FPS,在 0.8~1.5 m 的范围之内,Vision Card 芯片都可以自动避障,具有极强的控制性^[6]。

加入 Vision Card 后的舵机实物如图 3 所示。

2 基于 Vision Card 的机器人舵机高精度数字控制

针对机器人舵机的三项主要元件:直流电机、驱动器和反馈电位器进行控制,然后使用 Vision Card 对机器人舵机进行高精度数字控制,通过调节 PWM 完成数字控制。



图 3 舵机实物图

2.1 机器人舵机内部直流电机控制

直流电机在机器人舵机占据着核心地位,能够将电能转换成机械能,机器人舵机中的直流电机性能越好,舵机性能越好。一般具有高功率输出、良好动静态性能、优秀过载能力、稳固结构的直流电机,都能够安装在负载大的控制场合^[7]。直流电机被认为是舵机的驱动执行元件。

由于直流电机内部结构复杂,所以在对其进行控制时,要考虑多方面因素,如阻尼力矩、摩擦力矩、电机电压、电流等等,并将这些因素按照主次来规划,先控制主动因素,再控制次要因素。测量直流电机回路中的电压、电阻、总电感,从而分析电压满足的平衡条件,根据分析结果,利用反电动势系数和电机旋转角度计算出反电动势,再根据电机输出轴承担的负载转矩和总转动惯量求出电机转矩平衡方程。

由于机器人舵机是小功率随动系统,如果承载过大的负载,电机可能难以正常运行,甚至会出现电机烧坏的情况,所以使用的额定转矩要超过轴的负载转矩,因此需要通过拉普拉斯变换得到直流电机的传递函数,计算出机器人舵机的转动角,根据传递函数对直流电机进行控制。

2.2 机器人舵机内部驱动器控制

驱动器在机器人舵机中发挥着重要作用,每一个控制信号都要通过驱动器才能完成功率放大,从而驱动电机。驱动器的存在可以确保控制过程的连续性和直线性。由于控制信号不断变化,所以驱动器若想达到稳定高效的驱动信号的同时,对信号进行调速,必须要设定脉宽调制和功率转换两部分^[8]。

脉宽调制又称 PWM,指的是在数字输出的脉冲信号中,在一个脉冲周期中设定出一个高电位比例,从而调节脉冲宽度,这一比例叫做占空比。通过不断改变直流电源在固定周期的通断情况和通电时长来调节脉宽。作为一种通过改变数字信号来提高模拟信号可控性的方法,PWM 在舵机转向控制和转速控制中都有所应用。相较于常规的驱动方法,PWM 这一驱动方法所拥有的优点更多,比较典型的优点有如下几条:1) 直接驱动由于存在感抗和容抗,所以响应速度很慢,PWM 能够快速响应点击要求,完成完美配合,尤其适用于开关频率较高的驱动场合;2) PWM 调控的功率很小,所以消耗电量也很小,机器人在运行时不会产生过多损耗,运行效率也很高;3) PWM 的控制精度很高,能够满足机器人高精度的要求^[9]。

在使用 PWM 进行调制时，使用的硬件包括电压转换电路、脉冲转换电路、功率放大电路，根据预定逻辑，对晶体管进行依次通断操作，确保点击上的电压能够不断交替不断改变，波动范围为 $+U_s$ 和 $-U_s$ ，PWM 波形图如图 4 所示。

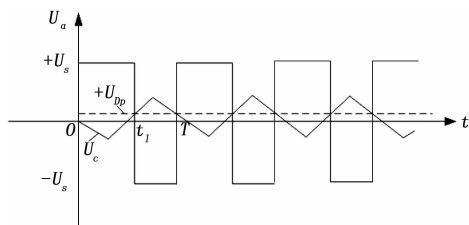


图 4 直流电机上的 PWM 波形图

根据不同的分配条件分配输出电压。需要特别指出的是，所有的输入信号都必须进行功率放大操作，如果未进行功率放大操作，则拥有的功率不足，难以作为 PWM 的输入电压使用。为了确保控制过程机器人舵机工作的稳定性，减小对机器人系统的影响，PWM 脉冲设计的转换频率高于电机频率。

2.3 机器人舵机内部反馈电位器控制

反馈电位器装载电动舵机内部，主要负责将电动舵机的旋转角度转换成电压量，通过反馈的方式控制机器人舵机的旋转角度。反馈电位器拥有 3 个引出端口，通过预先设定的规律调节电阻元件，得到与输入电压呈一定关系的输出电压。反馈电位器两端拥有固定的参考电压，中间拥有信号端口，能够连接需要测定的运动装置。当机器人舵机的运动装置开始运动后，信号端的两侧电压就会出现变化，利用模数转换方法将变化的数值传递给控制器和仪表，从而完成对运动的反馈。本文设计的机器人舵机控制技术可以将电动舵机转轴与旋转式反馈电位器连接到一起，方便反馈电位器以更加直接的方式测定舵机中的电压变换。

在测定时，由于电动舵机的输出转角与信号的单位是不同的，所以首先要对单位进行换算，利用反馈电位器上的电压和总行程得到传递函数，进而完成控制。

2.4 基于 Vision Card 的机器人舵机视觉控制

在完成直流电机、驱动器和反馈电位器的控制后，引用 Vision Card 对机器人舵机进行高精度数字控制。Vision Card 中文翻译为视觉卡，是人工智能领域的产物，具有如下优点：1) 能够支持前端服务器模式，即使在非联网状态下也可以进行移动交互；2) 抓拍时间小于 100 ms，锁定目标；3) Vision Card 能够与目前的系统实现无缝对接；4) 同时接入多路摄像机，即使是普通的摄像机也可以接入，降低工作成本；5) 对于人脸的识别准确率高达 95%；6) 内部拥有数据库，可以导入人脸；7) 占地面积小，功耗率低，机器人可以更叫稳定的运行。由此可见，Vision Card 在控制机器人舵机这一领域有着很大的优势，应用效

果非常好。

加入 Vision Card 之后，系统会使用控制线发送可变宽度或脉冲宽度调制 (PWM) 的电脉冲，利用得到的电脉冲来控制舵机。在控制时，需要同时考虑最小脉冲，最大脉冲和重复率 3 个因素。机器人舵机在一个方向上能够旋转的最大角度为 90° ，总转动度数为 180° 。将舵机在顺时针或逆时针方向上具有相同的潜在旋转量的位置设定成中间位置，该位置也是脉冲宽度调制的轴位置，在使用控制线发送脉冲的过程中，转子会转动到事先预定的位置，每隔 20 ms 舵机就会得到一个脉冲，引用 Vision Card 根据得到的脉冲长度确定电机的转动位置。

如果使用 1.5 ms 脉冲就可以将舵机转到 90° 位置，那么所有长于 1.5 ms 的脉冲都能够确保舵机沿着顺时针方向转动。在收到移动命令后，舵机会移动到预先设定的位置，并且稳定在这个位置上保持不动，即使受到外界的推力，舵机也会稳定在原有的位置上，但是推力会有一个限度，这一限度被称为“扭矩额定值”，如果外界推力超过这一额定值，则舵机难以稳定在原来的位置上。

3 实验研究

3.1 实验目的

为了进一步验证本文基于 Vision Card 的机器人舵机高精度数字控制技术的实际效果，同时与传统的开环控制技术、PID 控制技术和模糊 PID 控制技术进行对比，设置了验证实验。

3.2 实验参数与实验环境设计

设置实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

项目	参数
电磁时间常数	0.5s
机电时间常数	0.007s
舵面反馈系数	1
减速器传动比	3:1
时间间隔	1.5ms
研究环境	无噪声环境

实验采用机器人 (含舵机) 如图 5 所示。

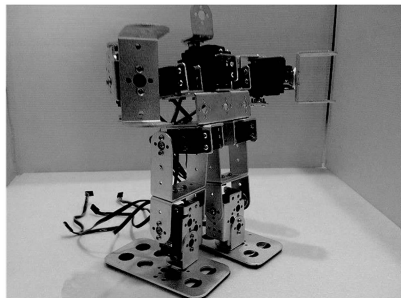


图 5 实验所用机器人 (含舵机)

3.3 实验结果与分析

根据上述实验参数进行实验，同时选用传统的开环控制技术、PID 控制技术、模糊 PID 控制技术以及本文研究的基于 Vision Card 的控制技术对机器人舵机进行控制，将单位阶跃信号作为输入信号，得到的实验结果如下：

3.3.1 调控性能测试

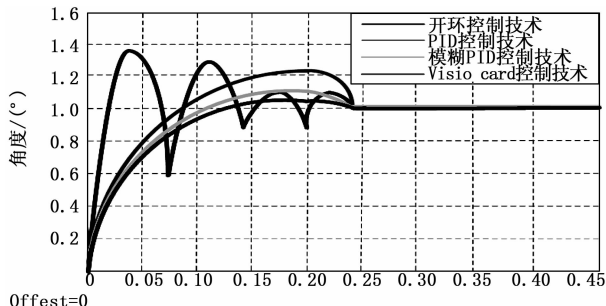


图 6 调控性能实验结果

整理上述实验结果数据，将开环控制技术、PID 控制技术、模糊 PID 控制技术以及 Vision Card 控制技术进行对比，得到结果如表 2 所示。

表 2 调控性能实验结果数据对照表

控制技术	上升时间/s	稳定时间/s	超调量/%
开环控制技术	0.005 4	0.098 2	47.256
PID 控制技术	0.052 1	0.300 1	16.257
模糊 PID 控制技术	0.098 3	0.225 0	0.504 7
Vision Card 控制技术	0.084 4	0.201 2	0.501 0

根据表 2 可知，在经过一段上升时间后，开环控制技术、PID 控制技术、模糊 PID 控制技术以及 Vision Card 控制技术的控制效果都趋于稳定，但是相较于其它控制技术，Vision Card 控制技术的稳定性更强，超调量更小。同时分析 4 个技术的上升时间、稳定时间和超调量可知，Vision Card 控制在增加控制技术稳定性的基础上，能够实时整定各项参数，从而提高调节速度，优化调节性能。

3.3.2 调控稳定性测试

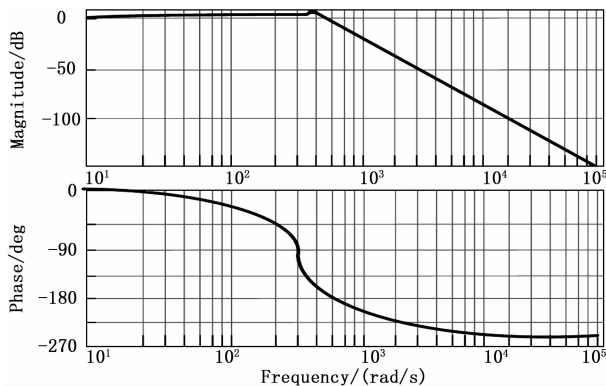


图 7 调控稳定性实验结果

分析图 7 的传递函数幅频特性可知，在相位裕度为 28.7°，幅值裕度为 11.2dB 的环境下，Vision Card 控制技术可以将机器人舵机是一个开放性的稳定系统，帮助机器人舵机内部的反馈继电器进行自我校正，但是舵机自身的调控功能有效的，因此需要通过测试输出转角等因素完成进一步的调整。相较于传统系统，Vision Card 控制技术通过数字化测量方式测试输出转角，对内部含有控制算法的程序进行不断调整，能够同时实现多种校正控制，加强系统的稳定性。

通过比较各项参数以及实验结果表明，本文设定的控制技术能够结合其它控制技术的优势，实现高精度控制，速度快、稳定性强、调控性能好，更加适用于机器人舵机控制技术。

4 结束语

随着人们对机器人研究的深入，机器人控制技术在市场上的应用价值越来越高。Vision Card 作为机器视觉技术的延展产物，在机器人控制领域中发挥着重要作用。本文引入 Vision Card 针对机器人舵机研究了一种高精度数字控制技术，针对舵机中的主要元件进行控制，通过与开环控制、PID 控制、模糊 PID 控制三项技术对比，验证本文设定技术的有效性。结果表明，该技术不仅能够增强稳定性，而且能够加快控制速度。

本文研究的高精度数字控制技术虽然具备上述优点，但是缺少对动力学模型对运动精度的影响，未来需要在此方面进行更加深入的探讨。

参考文献：

- [1] 姚强, 王亚刚. 基于 STC15F2K60S2 的多路 PWM 舵机控制器设计 [J]. 软件导刊, 2018, 17 (6): 136-139.
- [2] 林丽芳. 一款基于舵机的智能绘画机器人的设计 [J]. 现代国企研究, 2018, 130 (4): 225.
- [3] 宋晗, 和阳, 朱纪洪. 基于 DSP 的高精度舵机伺服控制器设计 [J]. 微特电机, 2018, 46 (4): 37-40.
- [4] 谭皓洲, 石光智, 王锡康, 等. 基于 STM32 的数字舵机控制系统的设计与实现 [J]. 科技经济导刊, 2018, 26 (15): 33.
- [5] 邢玉鹏, 张立华, 陈浩杰. 基于 KinetisK60 四自由度双足机器人设计 [J]. 电子技术, 2018, 47 (6): 75-77.
- [6] 王康南, 王利霞. 基于 Arduino 平台的六足仿生机器人控制系统设计 [J]. 物联网技术, 2018, 52 (1): 58-61.
- [7] 佚名. 双足竞步机器人控制系统设计与实现 [J]. 数字技术与应用, 2018, 36 (6): 19-20.
- [8] 连捷, 姚晓先, 郭致远. 旋转弹舵机控制滞后及延迟补偿时间分析 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40 (6): 135-141.
- [9] 关慧贞, 邱铁, 叶希贵. 基于 51 型单片机的自动巡线轮式机器人控制系统设计 [J]. 电子设计工程, 2018, 22 (3): 35-37.