

文章编号:1006-2343(2003)04-062-03

基于视觉伺服的倒立摆实验平台的研究

郭 峰, 曹其新, 赵言正, 朱伟华

(上海交通大学 机器人研究所, 上海 200030)

摘 要: 基于视觉伺服的倒立摆系统可为机器视觉和智能控制领域的研究提供一个很好的实验平台。对该实验平台的视觉采集系统、运动控制系统和系统软件结构进行了详细的介绍, 对各组成部分的功能和设计原理进行了具体的说明。

关键词: 视觉伺服; 倒立摆; 实验平台

中图分类号: TP391.6 文献标识码: A

倒立摆是控制理论中一个经久不衰的研究课题。它形象直观、结构简单、构件组成参数和形状易于改变、成本低廉, 但就系统本身而言, 又是一个高阶次、不稳定、多变量、非线性、强耦合系统, 只有采用行之有效的控制方法才能使之稳定^[1]。理论是工程的先导, 各种经典控制理论如状态反馈、模糊控制和神经网络都曾利用倒立摆进行过实验, 在对控制算法的可行性和稳定性进行验证之后, 再将其应用于工程实践, 因此倒立摆研究具有重要的工程背景。

80 年代, 随着计算机及图像处理硬件的发展, 使得视觉信息可用于连续反馈, 人们提出了基于视觉的伺服控制形式 (visual servoing)。即利用机器视觉的原理, 对从视觉传感器

得到的图像进行快速处理, 在尽量短的时间内给出反馈信息, 构成机器人的位置闭环控制^[2]。这种方式可以克服系统模型 (包括机器人、视觉系统、环境) 中存在的确定性, 提高视觉定位或跟踪的精度^[3]。目前, 基于视觉伺服的机器人已经在工业领域中得到了广泛的应用, 随之也在控制理论和机器人视觉领域带来了一系列新的研究方向, 各方面的相关理论急待完善, 迫切需要一个有效的实验平台来进行验证。

目前国外某些科研机构提出用带有视觉传感器的倒立摆系统来对视觉伺服领域的问题进行研究。众所周知, CCD 摄像头的图像传输速率可以达到 50~100 帧/秒, 这个速度要大大低于光电编码器的采样频率, 而且采样精度易受外界环境因素的影响, 提高了对整个倒立摆系统实现稳定控制的难度。但人脑视觉中枢对图像的处理速度只有 25 帧/秒^[4],

收稿日期: 2003-01-02

表 1 分离效果比较

120 ± 10 μm	气流分离	浮法分离	静电分离
分离率 (%)	85	95	94.5
时间/次 (min)	—	12(搅拌)	0.5
次数	2	1	2

由上述图表可以看出, 气流分离法对细度的统一性要求相当严格, 且其在实际应用中对于微小混合颗粒的分离效果不明显, 细度越小, 越难分离, 究其原因颗粒达到一定细度时, 颗粒质量对于流速不再敏感, 因此很难将混合颗粒分开。对照图 4 和表 1 可以看出, 浮法分离与静电分离的最后结果比较接近, 但浮法分离需要时间较长, 且需要进行搅拌; 静电分离虽然在两次分离后效果才与浮法分离接近, 但所用时间较短。

按金属与非金属的分离效果比较, 可以根据实际情况在处理工艺中采用浮法分离或是静电分离。

2.4 后置处理

后置处理主要包括贵金属提炼以及塑料制粒等, 其中贵金属提炼可以采用火法富集和湿法溶解等化学法, 塑料制粒也需借用化学法实现, 其内容可以参考各类相关文献, 在此

不作介绍。

3 小 结

如何用高效、清洁的方法处理废弃电子产品一直是近年来研究的热点。本文所采用的物理法回收处理工艺, 经过实验初步证实, 具有较高的资源回收利用率, 且整个过程过程清洁无污染, 成本低, 技术上易于实现, 因此较之各类传统处理方法更符合经济、清洁和高效的要求。

参考文献:

- [1] 杨伏生, 周安宁, 葛岭梅. 我国超细粉碎技术现状与发展趋势[J]. IM&P 化工矿物与加工, 2001, (5): 1~6.
- [2] 蔡雪原, 胡于进, 李成刚, 等. 产品回收过程中最优路径的确定[J]. 华东理工大学学报 2000, (3): 27~30.
- [3] 郑水林, 祖占良. 中国超细粉碎技术与设备现状[J]. 中国非金属矿工业导刊, 1999, (5): 17~19.
- [4] 黄泽雄. 塑料废弃物回收分离技术进展与创新[J]. world plastics, 2000, 19(3): 15~18.

作者简介: 周坚贞 (1977-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为绿色设计与制造。

却可以用手指稳定地托住一支铅笔,如何设计一种鲁棒性强的智能控制算法,在采样频率较低、信号质量差的情况下依然能保证倒立摆的稳定控制,是基于视觉伺服倒立摆系统的关键所在。利用该系统可以进行以下几方面的研究工作:①高速的二维图像运动估计算法研究;②图像处理算法的实验验证;③强鲁棒性、高稳定性的智能控制器实验研究;④由视觉传感器组成的采样系统性能分析;⑤对视觉伺服系统的整体动态性能进行研究。

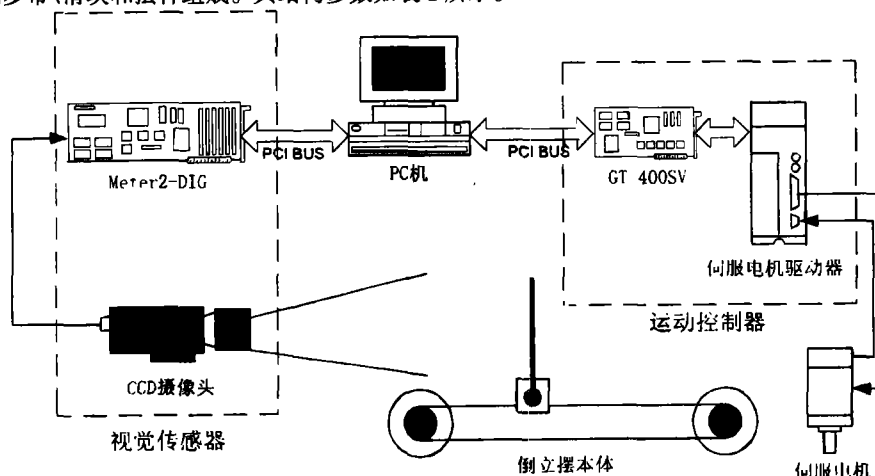
目前国外已有一些高校开展了对基于视觉伺服倒立摆系统的研究;其中 Oregon State 大学的 Mario E. Magana 和 Frank Holzapfel 利用视觉传感器从整幅图像中提取摆杆和小车的运动参数,用模糊控制器实现了对直线倒立摆的稳定控制^[4];哈佛大学机器人实验室的 Hongyi Li 博士将摄像头固定在驱动轴上,采集固定在摆杆旋转轴上的条形码盘的运动图像,从中提取出摆杆运动的角度和角速度,用最优控制器实现了对旋转摆的稳定控制^[7]。上述系统的主要特点是采用视觉传感器代替传统倒立摆系统中用于运动参数反馈的光电编码器,利用采集到的运动参数作为反馈对整个系统进行控制。

本文所介绍的倒立摆系统采用由高速摄像头和图像采集卡构成的视觉传感器,从整幅倒立摆系统的运动图像中提取出摆杆旋转的角度和角速度,将其反馈给作为控制器的 PC 机,利用相应的算法来实现整个系统的稳定控制。和前文中提到的倒立摆系统不同,我们设计的视觉传感器工作环境更为复杂,采用的光源是普通的日光灯;整个系统的控制器是在 Win2000 下现实的,增加了实时控制的难度。下面将对实验平台的硬件组成和软件设计分别进行介绍。

1 倒立摆实验平台的硬件组成

基于视觉伺服的倒立摆实验平台可以分为三部分:由小车和摆杆组成的倒立摆机构本体;由高速摄像头和图像采集卡组成的视觉传感器和由 PC 机和运动控制卡组成的运动控制器。该系统组成如图 1 所示。

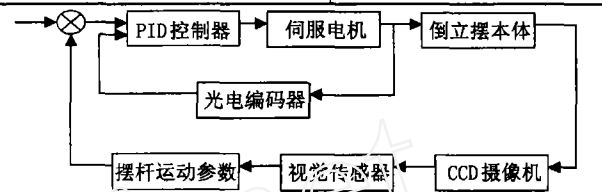
倒立摆机构本体选用了固高科技有限公司生产的 GIP-100-L 型直线运动单节倒立摆。它由底座、交流伺服电机、同步带、滑块和摆杆组成。其结构参数如表 1 所示。



▲图 1 基于视觉伺服倒立摆系统结构简图

表 1 倒立摆机构本体的结构参数

结构参数	具体数值
M 小车质量	1.32kg
m 摆杆质量	0.07kg
b 小车摩擦力	0.1N/m/s
l 摆杆转动轴心到杆质心的长度	0.2m
i 摆杆惯量	0.00093kg·m ²

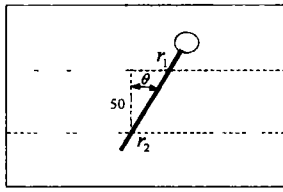


▲图 2 视觉伺服系统的控制方框图

倒立摆系统的控制器由普通 PC 机、固高公司生产的 GT-400SV 运动控制卡和松下公司的 MSDA023A1A 交流伺服电机驱动器组成。整个系统采用了目前在视觉伺服中广泛采用的双环动态 look-and-move 方式:即采用视觉信息为机器人关节控制器提供设定输入,由内环的控制器控制执行机构的运动。具体结构如图 2 所示。由运动控制卡、交流伺服电机驱动器和光电编码器构成了一个内环控制系统,运动控制卡可以根据系统发送的指令,结合光电编码器反馈回来的信号,采用 PID 控制器对小车的运动(位移、速度和加速度)进行精确的控制。整个系统的闭环控制由 PC 机和视觉传感器来实现:PC 机对视觉传感器采集到的视频信息进行处理,从中抽取摆体转动的角度和角速度,结合光电编码器传送过来的小车的位移和速度,采用设计好的控制算法,计算出系统的输入,然后给运动控制卡发送相应的指令,控制小车的运动,使整个系统处于平衡状态。

视觉传感器是整个系统的关键,它是一个典型的机器视觉系统,由镜头、CCD 摄像头和图像采集卡组成。对视觉伺服系统来说,为了达到预期的目标,要求视觉传感器有高实时性,高分辨率和强鲁棒性,以便在外界噪声存在的条件下,能对图像特征信息进行高速精确的采集。为了保证视觉传感器的实时性,我们选用了高速摄像头和图像采集卡:摄像头选用了美国 UNIQ 公司生产的 UP-610 高速黑白 CCD 摄像头,其有效像素为 659 × 494,

其有效像素为 659 × 494,采样频率可达 120 帧/秒。图像采集卡选用了加拿大 MATROX 公司的 Meteor2-DIG,这款采集卡采用 RS-422 标准,其采样频率最高可达 25MHz,可按同步和异步方式采集图像。其中异步采集模式 (M-ASYNCHRONOUS)可以保证图像采集卡在采集一幅图像的同时,对已采到的另一幅图像进行处理。实验证明,采用这种方式可使视觉传感器的采样频率达到 100 帧/秒,可以满足对倒立摆实时控



▲图 3 摆杆角度计算示意图

制的需要。

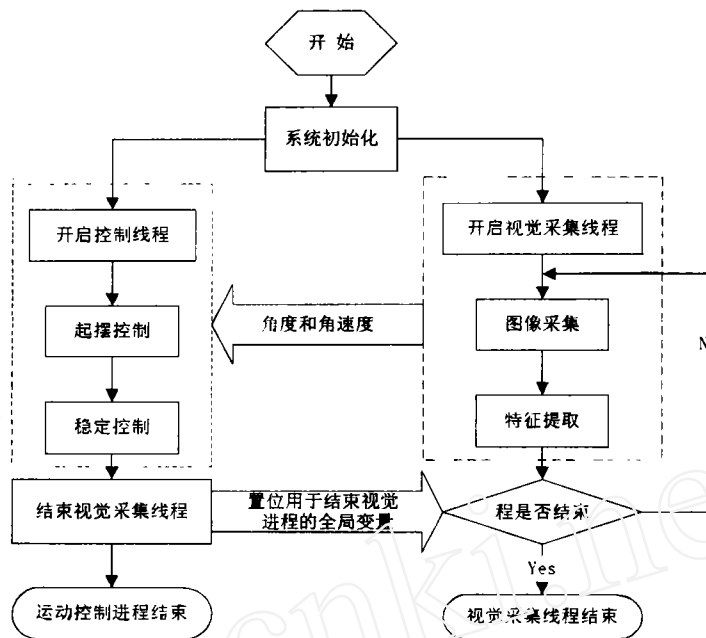
视觉传感器的实时性还和图像特征提取所采用的算法有关,采用对采集到的每帧图像进行两行扫描的方法来计算摆杆的角度。具体过程为从图像中选择位置固定、相距为 50 行的两行像素,分别找出在相应行中属于摆杆的特征点,记录下它们的位置 r_1, r_2 。然后用反正切函数 $\theta = \arctg\left(\frac{r_1 - r_2}{50}\right)$ 来计算摆杆当前的角度。图 3 为该算法的原理示意图。实验证明,这种算法计算量小,可靠性高,可以保证视觉传感器有足够高的实时性和精度。

2 倒立摆实验平台的系统软件设计

该实验平台的系统软件是基于 Windows 2000 开发的,它是一个多任务操作系统,允许多个线程并行工作,并为多线程之间提供了全局变量、消息映射和事件触发三种通讯方式,使得用户可以方便地设计出满足自己需要的多任务软件。我们在进行倒立摆实验平台的系统软件设计时充分利用了 Win2000 的这个特点,将倒立摆控制系统设计成了一个多任务系统,并采用多媒体控制器来保证其实时性。

整个倒立摆平台的系统软件是一个多任务系统,包括倒立摆控制和视觉采集两个线程。控制线程分为起摆控制和稳定控制两部分,当系统开始工作时,首先运行起摆程序,使摆杆转动到能够对其进行稳定控制的范围内,然后转入稳定控制程序,对摆杆进行有效的控制。视觉采集线程主要由视觉传感器的初始化、图像采集和特征提取三部分组成。两个线程之间通过消息响应的方式来进行通信。在程序开始运行时,首先启动视觉采集线程,使视觉传感器开始工作,当视觉采集线程完成一帧图像的处理,从中提取出摆杆转动的角度和角速度之后,便向控制线程发送一个消息,控制线程调用相关的消息响应函数,完成对角度和角速度的采集。整个系统的层次关系如图 4 所示。

为了使整个倒立摆达到稳定状态,必须保证对整个系统采样时间进行精确的控制,而 Windows 是多任务多用户的操作系统,用户无法直接操作低层的硬件,因此在 Windows 下很难对采样频率进行精确的控制。如果采用 Windows 提供的 WM-TIMER 消息定时器服务,其分辨率只能达到 50 毫秒,达不到对倒立摆进行实时控制的要求。为此我们选用了 Win32 应用程序编程接口(API)提供的多媒体定时器服



▲图 4 软件系统结构示意图

务,与消息序列传递 WM-TIMER 消息的定时器服务不一样,它提供硬件中断服务,并不传送任何消息,而是调用回调函数。多媒体定时器大大提高了系统的采样精度,其定时精度最高可达 1 毫秒,满足了对倒立摆系统进行实时稳定控制的要求。

3 结论

基于视觉伺服的倒立摆实验系统为机器视觉领域的研究提供了一个良好的实验

平台,通过它可以对目前视觉伺服的一些热点问题(运动目标的快速识别、仿人智能控制、伺服系统动态特性分析等)展开研究。在系统构建过程中采用了 Win2000 提供的多媒体定时器来确保系统有良好的实时性,采用了简单的角度计算方法来确保视觉传感器有足够高的采样速率。我们正在进行一系列的研究工作,研究重点主要集中在从视频信号中快速提取所需运动参数的算法设计和视觉伺服系统的动态特性分析两方面,相关研究成果将在今后陆续发表。

参考文献:

- [1] 张葛祥,李众立.倒立摆与自动控制技术研究[J].西南工学院学报,2001,16(3):12~16.
- [2] 赵清杰,连广宇.机器人视觉伺服综述[J].控制与决策,2001,16(6):849~853.
- [3] 林靖,陈辉堂.机器人视觉伺服系统的研究[J].控制理论与应用,2000,17(4):476~481.
- [4] Mario E Magana and Frank Holzapfel. Fuzzy-Logic Control of an Inverted Pendulum with Vision Feedback[J]. IEEE TRANSACTIONS ON EDUCATION, 1998, 41(2):165~170.
- [5] Wenzel L. Vazquez N. Computer vision based inverted pendulum [A]. Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000, IMTC 2000. Proceedings of the 17th IEEE[C]. Volume:3, 2000, 1319~1323.
- [6] Dickmanns E D. The 4D-approach to dynamic machine vision Decision and Control[A]. Proceedings of the 33rd IEEE Conference [C]. on, Volume:4 1994, 3770~3775.
- [7] Hongyi Li. Swing Up and Stabilize Control of an Inverted Pendulum with Vision Sensor[R]. Technical Report in Harvard Robotics Lab August 7, 1999, 1~30.
- [8] Seth Hutchinson, Member, A Tutorial on Visual Servo Control [J]. IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, 1996, 12(5):651~670.
- [9] [美]David J. Kruglinski Visual C++ 技术内幕(第四版)[M].北京:清华大学出版社.

作者简介:郭峰(1976-),男,博士研究生,主要研究方向为视觉伺服,机器人视觉。

of the three-dimensional digital model being transformed to the two-dimensional engineering drawing. It puts forward a postprocessor concept of engineering drawing with Solid Edge and studies the content of the working process of the postprocessor. It also gives solution schemes for these problems during the engineering application.

Key word: Solid Edeg, three-dimensional digital model; postprocessor

Realizing a Process Plan Management System Based on Product BOM

SUN Yuan

(Shanghai College of Electricity & Machinery Technology, Shanghai 200240, China)P54

Abstract: In this paper, the thought of process plan management system based on product BOM is put forward, and its software is developed. It would be easily to inquire both the documents and data of process plans according to the assembly-tree, and at the same time, collection of process plans data can be completed in order to standardize the process planning management, and share information with other systems or departments based on network. This system operates simply and also has practicability.

Key word: product BOM; assembly connection; process plan management

The Coupling Method of Time Difference in Simulation of unstable Hot-forming

ZHANG Hai-qu

(School of Mechanical Engineering, Shenyang University, shenyang 110044, China)P57

Abstract: It was come up with that the problems in hot-forming were solved with method of time difference, the mutual influences between deformation and thermal conduction was simulated through alternate genetic calculation of temperature field and force-energy field, and the ununiformity of billets was depicted by the method of dispersing space. It was discussed in the paper that the method applied to the analysis of rigidly plastic deformation through examples of upsetting a cylindrical billet and drawing a square billet.

Key words: plastic forming; numeric simulation; temperature field

Recycling the Electronic Products by physioal Method

ZHOU Jian-fu, CAI Jian-guo

(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)P60

Abstract: The discarded electronic products have rapidly

increased in the past several years, but there are not too much corresponding technologies to process this kind of wastes. This paper suggests a process including four parts, namely, disassembling, crushing, separation and final processing. Among them, crushing and separation are described in detail. Actually this process is friendly to environment.

Key word: physical; electronic; recycling; crushing; separation

The Study of Visual Servoing Based-Inverted Pendulum Experiment Platform

GUO Feng, CAO Qi-xin, ZHAO Yan-zheng, ZHU Wei-hua

(Research institute of Robotics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)P62

Abstract: Visual servoing based inverted pendulum provides an excellent experiment platform for the study on machine vision and intelligent control. A typical visual servoing based-inverted pendulum is presented in this paper, which consists of vision system, motion control system and system software. Their functions and design principles are introduced in detail.

Key words: Visual servoing; inverted pendulum; experiment platform

The Development of Friction Tester Adopting of Changing-direction Lapping

ZHAI Wen-jie, WANG Chuang

(College of Mechatronical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)P65

Abstract: A kind of friction tester adopting of changing-direction lapping was developed, which can better simulate the practical lapping process; The characteristics of friction force and its signal-collecting is analyzed and a new technique for measuring friction-coefficient is introduced in this paper. The experiment for Si_3N_4 /cast iron pair shows that this tester is stable in performance and can give reliable results.

Key words: changing-direction lapping, friction tester

An Optimal Design of a Not Fully Symmetrical Magnetic Damper

LI Jian-mei, LU Chang-hou, JIN Mei

(School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)P67

Abstract: In order to control the vibration of the rotor system, the structure parameters of the magnetic damper is optimized in this paper. A model of an asymmetrical magnetic damper is established. This model is applied to the rotor system supported by sliding bearings through simulation, which is proved to have great effect on controlling the vibration of the rotor system.