

上海大学出版社
2005年上海大学博士学位论文 80



基于LAP方法的机器人 灵巧手控制

- 作者：朱方文
- 专业：机械电子工程
- 导师：龚振邦 韦 穗



G643/169

001280786

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 80



基于LAP方法的机器人 灵巧手控制

- 作者：朱方文
- 专业：机械电子工程
- 导师：龚振邦 韦穗



贵阳学院图书馆



GYXY1280786

图书在版编目(CIP)数据

2005 年上海大学博士学位论文. 第 2 辑/博士论文编辑部编. —上海: 上海大学出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-81118-367-2

I. 2… II. 博… III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2005 IV. G643.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 180878 号



2005 年上海大学博士学位论文

——第 2 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 274.25 字数 7641 千

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1~400

ISBN 978-7-81118-367-2/G·490 定价: 980.00 元(49 册)

Shanghai University Doctoral Dissertation (2005)

上海大学

The LAP-based Control of a Multi-finger Mechanical Dexterous Gripper

答辩委员会名单:

主任: 赵德勇 教授, 上海交大机器人研究所 200020

Candidate: Zhu Fangwen

委员: 曹 勇 教授, 上海交大机器人研究所 200093

Major: Mechatronics Engineering

委员: 尹林嘉 教授, 上海大学通信工程学院 200072

Supervisor: Gong Zhenbang, Weisui

委员: 方桂英 研究员, 中科院上海光机所 201800

导师: 吴振邦 教授, 上海大学 200072

委员: 韦 巍 教授, 安徽大学 230026

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

- 主任: **赵锡芳** 教授, 上海交大机器人研究所 200030
- 委员: **李爱平** 教授, 同济大学现代制造技术研究所 200092
- 钱晋武** 教授, 上海大学机自学院 200072
- 严壮志** 教授, 上海大学通信工程学院 200072
- 方祖捷** 研究员, 中科院上海光机所 201800
- 导师: **龚振邦** 教授, 上海大学 200072
- 韦 穗** 教授, 安徽大学 230039

评阅人名单:

- | | | |
|------------|----------------------|--------|
| 赵锡芳 | 教授, 上海交大机器人研究所 | 200030 |
| 卢桂章 | 教授, 南开大学机器人与信息自动化研究所 | 300071 |
| 苏学诚 | 教授, 山东科技大学机器人研究中心 | 266510 |

评议人名单:

- | | | |
|------------|----------------|--------|
| 黄大贵 | 教授, 电子科技大学 | 610054 |
| 严壮志 | 教授, 上海大学通信工程学院 | 200072 |
| 程维明 | 教授, 上海大学机自学院 | 200072 |
| 梅 涛 | 研究员, 中科院合肥智能所 | 230031 |

答辩委员会对论文的评语

机器人灵巧手控制是近年来在各学科交叉领域中兴起的应用性前沿研究课题。朱方文同学的博士论文“基于LAP方法的机器人灵巧手控制”，选题具有重要的理论意义和应用前景。

论文作者应用LAP(Looking at people)方法分析人抓取物体的手势姿态，并在控制多指灵巧手的姿态和动作方面进行了深入研究。主要创新体现在：1. 从人手的生理构造特征出发，用摄像机获取人手的特征点信息快速求出姿态参数，把人手指尖空间位置映射为灵巧机械手的空间姿态，从而建立并实现了基于LAP的机器人灵巧手实时控制实验系统；2. 应用计算机视觉Lumigraph(光流图)理论重建指尖点的三维空间坐标，算法简单，实时性强。研究思路新颖，实验证明方法可行，为多指灵巧手提供了一种人机交互的新的控制方法。

论文层次分明，重点突出，逻辑性强，文笔流畅，图表规范，公式推导正确。从论文可见作者的基础理论坚实宽广，专门知识系统深入，具有独立从事科研工作的能力。

在论文答辩过程中，讲述清楚，能正确回答问题。

答辩委员会表决结果

经论文答辩委员会讨论,并投票表决,一致同意通过朱方文同学的毕业论文答辩,并建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **赵锡芳**

2005年5月9日

摘 要

本文讨论将计算机视觉用于人手姿态的检测,在基于任务建模的方式下,进行多指机械灵巧手的操作控制的研究工作。

机械手,包括灵巧手,是机器人进行操作的最重要的工具,对应的控制是机器人适应性地完成各种作业任务的关键。具有多手指、多关节和多自由度的多指灵巧机械手可以提高机器人的操作能力,实现复杂的灵巧操作。

传统上的机械手通常采用离线编程或示教的方法进行控制,机械手完成的是事先规定好的工作,这种工作模式降低了机械手对非结构环境的适应性。采用视觉传感器的机器人系统,用摄像机摄入被抓取的物体的影像,通过图像处理分析,获得物体的方位、形状参数,可以让机器人能自动识别需要抓取的对象,确定机械手的夹持器的方位和抓取方法。

但是,基于目前技术发展的水平,不可能完全靠传感器对机械手的直接控制来完成复杂的任务,即使在所谓结构环境中,机械手仍需要依赖多种形式的“学习”,“积累”处理可能出现的各种情形的知识。另一方面,在非结构化环境中,靠机器人完全适应性地完成各种作业任务是不现实的,往往需要人机配合,由人进行必要的监控和决策。并用人机交互手段干预机械手的动作。鼠标与键盘是传统上最常用的人机接口。

新型的人机接口装置——数据手套的出现,大大增加了机械手,特别是多指、多关节的机械灵巧手的适应性,但是数据手

套多数是采用命令姿态作为控制方式的,操作者在使用数据手套以前需要进行训练,手套需要标定。命令姿态数量也是有限的。而且,数据手套是接触性传感器,容易损坏、不够舒适、价格比较高。另外,与计算机相连的数据手套在一定程度上限制了操作者的活动。手套开始工作后,就连续检测人手的动作,影响了操作者与其他人或设备的交互。

在过去的几年中,计算机视觉拓展了一个所谓“看人”(looking at people,以下简称 LAP)的应用领域,用计算机视觉作为人机接口,通过观察(监视)、分析人体不同部分的表情或姿态,从中提取有用的控制信息。由于是非接触性检测,因此对于操作者而言感觉比较自由而且自然,同时还能为机器提供丰富的信息资源,具有广阔的应用范围。在 Looking at people 应用中,手势姿态分析主要研究内容是分析用手势表达的符号语言(如手语字符)的意义。

本文进行的研究将 LAP 方法应用于分析人的手势姿态,进而完成多手指、多关节机械灵巧手的操作控制。这是一个交叉研究领域,涉及到计算机立体视觉、图像处理和机器人学等学科。

系统的特点是采用根据任务建模的方式而不是预先规定的命令姿态进行控制。由操作者观察被操作对象的表面形态、方位,作出动作决策(抓取物体的手势姿态),摄像机从不同角度“观察”人的手势,经过图像分析,信息合成,得到三维空间中手的姿态信息,然后利用人手和机械手结构上的异、同点,将人手的姿态转变成机械手可执行的动作姿态。

研究主要完成了下列工作:

(1) 根据人手的生理结构特点,设计了适合于具有小幅度运动的非刚性构架上特征点的搜索、排序方法,可以迅速、准确地将摄像机拍摄的处于任意空间方位姿态下的手的姿态图像上的各关节点(含手腕和指尖),按手指的归属重新排序,这些点在图像采集、处理过程中,是按从上到下或从下到上的扫描顺序排列的。按预定顺序连接这些点,可以用线条方式重构出在二维或三维空间中的手势姿态。

(2) 图像对应对应特征点的正确匹配,是立体视觉中恢复点的三维信息的最重要的步骤之一。本文根据拍摄图像的特殊性,设计了一种简洁、有效的点的匹配方法,利用上述重新排序算法,对不同摄像机拍摄的各图像采用相同的规则排列特征点的顺序,这样在解决了特征点的位置归属问题同时,也解决了图像对上对应点的匹配问题。

(3) 在计算机视觉的最新理论研究成果——Lumigraph 理论基础上,研究设计了简易有效的点的三维坐标计算方法。摄像机不用事先进行标定,也不用计算摄像机的投影矩阵,点的三维坐标计算与摄像机的内外参数及摄像机系统中各摄像机之间的相互位置无关,因此特别适用于多目视觉系统。系统中摄像机的数量可以很方便地进行增减,根据具体情况进行系统中摄像机的匹配。

(4) 人手和被控制的机械灵巧手是形似的,但是其各关节自由度的数量、关节数却有所差异,而且人手的大小也因人而异,不能直接进行关节姿态映射。在对比分析了人手生理结构和机械灵巧手的机械结构的基础上,总结了人手和机械灵巧手在抓取物体时的共同点和不同点,设计了指尖位置映射的控制

方式,将人手进行抓取时的指尖空间位置,映射为机械灵巧手坐标系中的空间位置,通过机械手的逆运动学方程,求出满足运动约束条件的解。整个系统以人手在三维空间中的动作图像作为输入,以机械手的模仿动作数据作为输出。实现了用 Looking at people 的方法,将人手姿态转换为机械灵巧手动作姿态的动作控制过程。

研究采用的方法计算量小,算法简单易行,可以满足机械灵巧手的实时控制要求。系统中所用的手套仅作为放置标记点的载体,因而不需要进行手套的标定;手套不与计算机相连,使人的手的动作比较自由,在摄像机监视范围以外,手可以自由动作,不影响机械灵巧手的控制。系统中的摄像机不需要进行复杂的标定;操作人员的手的大小和抓取姿态对算法执行和姿态分析没有影响,对抓取姿态没有特殊的规定。系统采用的点的三维重建方法也可以应用于被观察对象的表面基本形态的重建工作中。

关键词 机械灵巧手,机器人学,计算机立体视觉,空间手势姿态分析

Abstract

Using free- hand gestures for remote control of objects an effective interaction way because the hand gestures are natural forms of communication and are easy to learn. A single gesture can be used to specify both a command and its parameters indicating the positions and movements of the hand and fingers, which provide a higher potential of expression. Using free hand as an input device eliminates the need for employing intermediate transducers.

The ways for recognizing a hand gesture were classified as sensors-based and vision-based. Sensors-based ways use sensors physically attached to the hand to recognize the gesture, one of them is the "Data Glove". The mechanical data glove linked to the computer has the shortcoming of spoiling moving comfort and thus reduces the autonomy; in addition, the "glove" is expensive and could be damaged easily, the number of order gestures is also limited. Vision-based ways use optical sensors to detect the object, image processing and analyzing technologies were combined to perform the gesture recognition. The study about hand gesture analysis in vision-based system is mainly focused on the explanation of sign language. The research deals with steady positions recognition instead of dynamic gestures

because a system that interprets gestures and translates them into a sequence of commands must have a way of segmenting the continuous stream of captured motion into discrete lexical entities, this process is somewhat artificial and necessarily approximate.

The research introduced in this paper used “looking at people”(LAP), a new application area of computer vision in recent years, in the action control of a dexterous gripper with 3 fingers and 9 DOF. Instead of data glove, the system uses a pair of CCD camera and image processing and analyzing technologies for detecting the hand gesture of the operator.

The camera pair observes the hand gesture of the operator from different directions and a pair of gesture images is caught. Image processing, image analyzing are performed to segment the key points on the hand and get the correlation of the points, stereo-vision theory is used to calculate the coordinates of the key points in the 3D space. The comparison between the physiological structure of the person hand and the mechanical structure of the dexterous gripper was performed to find a suitable way for transforming the information of the hand gesture to an executable parameter for the dexterous gripper.

This is a subject-crossed research concerned with robotics, computer stereo vision, image processing and analyzing technologies. The main works done in the research are the following:

A set of robust algorithms for detecting the key points

positions on the hand and their co-relations was designed. It is suitable for the non-rigid structure with some small movement such as human's hand. The algorithm could search all the key points on the hand under arbitrary orientation and rearrange them according to their host finger and their position on the fingers.

On the basis of Lumigraph, the new theory in computer vision, an algorithm for calculating the coordinates of the key points above in 3D space was developed. So the solid geometric calculations could be employed in the calculation of 3D information without calibrating the camera and the calculating the projection matrix, a complex matrix calculation process. Lining the space points up can restructure the hand gesture in 3D space.

The research uses the task-based modeling in the control of the dexterous manipulator instead of command gesture. The operator observes the position and orientation of the object and design the grasping gesture for the mechanical gripper, shows it with his own hand. As introduced above, the system calculates the gesture information and the fingertip information of the operator was mapped as the fingertip position of the dexterous gripper. The inverse motion equation derived from the motion equation could be used to calculate the joints' angles on 3 fingers.

The vision-based grasping control of the dexterous gripper suggested in the paper provides the dexterous gripper with the direct grasping gesture instead of the order sequence

in the data glove system, the fingertip mapping algorithm makes the gripper have precise fingertip position in the grasping action and can control the grasping for the objects with uncommon surface. Getting rid of a glove linked with computer makes the operator more free and comfortable. Any action of the hand beyond the monitoring area of the CCD will not affect the controlled device. The number of cameras in the system is not limited and the cameras in the system could be arbitrarily grouped as pairs without considering the relative position between them. This method was considered quite applicable for a multi-camera system, it could resolve the occlusion problem occurred in human-machine communication. This method is expected to be used in other research works, such as modeling a virtual hand in a virtual circumstance, tracking the motion of a human limb and fast 3D reconstruction of an object.

Key words Mechanical dexterous gripper, Robotics, Computer stereo-vision, Hand gesture analysis in the 3D space

目 录

第一章 绪论	1
1.1 灵巧手控制和接口	1
1.1.1 机器人灵巧手控制	1
1.1.2 人机交互接口	3
1.2 从数据手套到基于视觉的手势姿态分析	5
1.3 基于视觉的手势姿态分析的研究概况	6
1.4 论文研究工作内容	16
1.5 论文结构	17
第二章 人手和机械灵巧手的结构对比分析	19
2.1 手功能解剖学方面的有关基本概念	19
2.1.1 关节运动分类	20
2.1.2 手的姿态	21
2.1.3 手部关节运动的概念	22
2.2 BH-3 型机械灵巧手简介	23
2.2.1 本体设计	23
2.2.2 控制系统硬件结构	24
2.2.3 控制系统软件	25
2.2.4 运动学模型和方程	25
2.2.5 TAFS/T 三维指力传感器	27
2.3 人手与机械灵巧手的结构差异比较	27