学校编码：**10384** 分类号_____密级 _____

学号：**19920101152745** UDC_____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

基于机器视觉的运动目标姿态测量之研究与实现

Study and realization on attitude measurement of moving objects based on machine vision

殷春平

指导教师姓名： 林 麒 教 授

专 业 名 称： 机 械 工 程

论文提交日期： **2013** 年 **5** 月

论文答辩日期： **2013** 年 **6** 月

学位授予日期： **2013** 年 月

答辩委员会主席：_____

评 阅 人：_____

2013 年 **5** 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外,该学位论文为(　　)课题(组)的研究成果，获得（　　）课题（组）经费或实验室的资助，在（　　）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：

年　　月　　日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（　　）1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于　　年　　月　　日解密，解密后适用上述授权。

（　　）2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年　　月　　日

摘　要

机器视觉测量技术是一种近年来新兴的非接触测量技术，具有精度高、速度快、技术先进等优点，已广泛应用于机器人、自动控制、精密仪器等领域。

对于姿态测量精度要求较高的运动目标，研究基于机器视觉的动态物体姿态参数的测量具有重要意义和应用价值。本文针对悬挂式运动物体和旋转式运动物体，探讨机器视觉姿态测量技术，并应用于悬挂式飞行器模型单目视觉姿态测量和双目汽车四轮定位参数测量，其中四轮轮定位参数测量的研究成果已产品化。

本文的主要工作和成果如下所述。

首先，对动态目标姿态测量理论进行了研究。根据被测物体在运动过程中的特点，给出了描述刚体姿态的三种表达方式；结合摄像机成像模型，详细阐述了求解平面或空间物体姿态的线性和非线性数学模型；针对解决运动物体外形复杂导致特征点被遮挡问题，阐述了双目视觉标定原理及测量方法。这些工作为本文研究奠定理论基础。

其次，对悬挂式飞行器模型的姿态测量，阐述了单目视觉的飞行器模型姿态角解算原理。从提高测量精度和程序稳定性的角度，详细描述了特征点布置与匹配的方法，着重比较了特征点图像区域识别的三种方法，并设计了姿态测量程序。

然后，对车轮定位参数的测量方法进行深入探讨。文中介绍了车轮定位参数测量原理；结合车轮几何模型，详细阐述了车轮平面法向量、坐标系的数学求解方法；考虑到车轮靶板在安装过程和运动过程中存在的误差对测量精度的影响，提出了靶板安装误差校正和运动补偿方法，并给出了相应的理论分析和数学公式，最后设计了定位参数的测量程序。

最后，建立了单目视觉飞行器模型姿态测量系统和双目视觉车轮定位参数测量系统，并分别进行了验证试验。实验结果表明，所设计的单目视觉姿态测量系统和双目视觉车轮定位参数测量系统均能够满足对动目标测量精度的要求，所提出的姿态测量方法是可行有效的。本文的研究成果可推广应用于其他运动物体的测量。

关键词：机器视觉 运动物体 姿态测量 悬挂式物体 旋转式物体

ABSTRACT

Machine vision measurement technology, a new non-contact measurement technology in recent years, with the advantages of high precision, speed, advanced technology, has been widely used in robotics, automatic control, precision instruments and other engineering fields.

High precision attitude measurement for moving objects, pose parameters measurement studies based on machine-vision has an importantly significant and applicable value. Machine vision attitude measurement technology explored for d suspended moving objects and rotary moving objects, was applied to acquire suspended aircraft model pose based on monocular vision and wheel alignment parameters on binocular vision, especially four wheel alignments technology has been productized . The main work and achievements are as follows:

First, pose measurement theory of dynamic objects is studied. three kinds' rotation matrixes of rigid motion is given combining with the characteristics of moving objects, Combination of camera model, linear and nonlinear mathematical model is elaborated to solve the posture of plane or space objects; Binocular calibration is also given to solve occlusion issues in the application because of object complex structure, these theory laid a theoretically mathematical foundation for this paper.

Secondly，In the pose measurement of suspended aircraft model, relative principal are respectively expounded based on monocular vision. Feature points' arrangement and matching is described in detail to improve calculating accuracy and process stability. Three kinds of image processing methods to quickly recognize points region was compared, and then the measuring program was designed.

Thirdly, In the wheel alignment parameters of car, measuring theory was deeply studied, combined wheel geometrical model, calculation method of normal vector of wheel plane and coordinates was introduced. Considering the error from target plate wheel installation and movement process which may influence the accuracy during

measurement, target plates installation error calibration and the motion compensation method was put forward to, and the corresponding theoretical analysis and mathematical formula was also given in detail, finally designs the positioning parameters of the measurement procedures.

At last, aircraft model posture measurement system based monocular vision and wheel alignment parameters measurement system based on binocular-vision are established , validation experiment are also carried out respectively. The result shows that aircraft model posture measurement system and the wheel alignment system both are meet the requirements of measurement accuracy on moving target. It is shown that the proposed pose measuring method is valid and effective. The research achievement of this paper can be applied in other measurement of moving objects.

Key words: Machine vision; Moving objects; Pose measurement; Suspended object; Rotating object.

目 录

第一章 绪 论 1

1.1 研究背景 1

1.1.1 悬挂式飞行器模型的姿态测量 1

1.1.2 汽车四轮定位测量 2

1.2 动态物体的姿态测量方法 3

1.3 基于机器视觉的动态物体姿态测量方法的国内外研究现状 6

1.4 本文研究的主要内容 7

第二章 基于机器视觉的动态目标姿态测量理论 9

2.1 刚体运动的表达方式 9

2.1.1 旋转矩阵法 10

2.1.2 旋转向量法 11

2.1.3 四元数描述法 12

2.2 摄像机模型 14

2.2.1 摄像机外参数模型 14

2.2.2 摄像机内参数模型 16

2.3 摄像机标定 17

2.4 姿态测量算法模型求解 18

2.4.1 PnP 问题的提出及相关结论 18

2.4.2 共面四点模型线性求解 19

2.4.3 空间六点模型线性求解 22

2.4.4 空间多点模型非线性优化求解 23

2.5 双目视觉的标定 25

2.6 本章小结 27

第三章 基于单目视觉飞行器模型姿态测量系统的设计 28

3.1 测量系统坐标系定义 28

3.2 飞行器模型姿态角的解算.....31
3.3 系统软件方案设计.....33
3.3.1 特征点的设计与布置.....34
3.3.2 特征点区域的图像识别.....36
3.3.3 特征点的匹配.....43
3.3.4 姿态解算程序设计.....44
3.4 本章小结.....46
第四章 基于双目视觉车轮定位参数测量系统的设计.....47
4.1 汽车四轮定位参数测量原理.....47
4.2 定位参数的几何数学模型.....49
4.2.1 车身坐标系的建立与车轮平面法向量的求解.....49
4.2.2 车轮定位参数的求解.....52
4.3 测量系统误差的补偿.....53
4.3.1 靶板安装误差的校正.....54
4.3.2 运动补偿.....57
4.4 四轮定位参数姿态解算程序设计.....59
4.5 本章小结.....60
第五章 动态目标姿态测量系统实验及分析.....62
5.1 基于单目视觉的飞行器模型姿态测量系统测试实验与性能分析.....62
5.1.1 静态特性测试试验.....64
5.1.2 动态特性测试试验.....67
5.2 基于双目视觉汽车四轮定位参数测量系统测试实验与性能分析.....76
5.3 本章小结.....78
第六章 总结与展望.....80
6.1 总结.....80
6.2 展望.....81
参 考 文 献.....82

攻读学位期间发表的成果目录.....87

致　谢.....88

CONTENTS

Chapter 1 Preface 1

1.1 Research Background 1

1.1.1 Attitude measurement of suspended aircraft model 1

1.1.2 Alignment of car's wheel 2

1.2 Posture measurement method of moving objects 3

1.3 Research status of posture measurement based on machine vision in engineering 6

1.4 The content of paper 7

Chapter 2 Pose measurement theory based on machine vision of moving objects 9

2.1 Transformation of rigid body movement 9

2.1.1 Rotation matrix method 10

2.1.2 Rotating vector method 11

2.1.3 Quaternion method 12

2.2 Camera projection model 14

2.2.1 Camera exterior parameter model 14

2.2.2 Camera interior parameter model 16

2.3 Camera calibration 17

2.4 Solution of pose measurement algorithm model 18

2.4.1 PnP problem and related conclusions 18

2.4.2 Linear solution of co-plane four-point model 19

2.4.3 Linear solution of space six-point model 22

2.4.4 Nonlinear optimization algorithm of spatial multipoint model 23

2.5 Binocular vision calibration 25

2.6 Brief summary 27

Chapter 3 Aircraft model pose measurement system based on

monocular vision 28

3.1 Coordinate definition of measurement system 28

3.2 Calculation of aircraft model pose 31

3.3 Design of software 33

3.3.1 Design and arrangement of feature points 34

3.3.2 Image recognition of feature points 36

3.3.3 Matching method of feature points 43

3.3.4 Attitude algorithm programming 44

3.4 Brief summary 46

Chapter 4 Wheel alignment measuring system based on binocular vision 47

4.1 Wheel alignment parameter and measuring principle 47

4.2 Geometric model of alignment parameters 49

4.2.1 The solution of vehicle coordinate system and wheel plane normal vector 49

4.2.2 The solution of wheel alignment parameter 52

4.3 Compensation method 53

4.3.1 Error correction of target board 54

4.3.2 Motion compensation 57

4.4 Alignment parameter algorithm programming 59

4.5 Brief summary 60

Chapter 5 Testing experiment and performance analysis 62

5.1 Experiment and performance analysis of aircraft model pose measurement system 62

5.1.1 Testing and analysis of in static experiment 64

5.1.2 Testing and analysis of in moving experiment 67

5.2 Experiment and performance analysis of wheel alignment system 76

5.3 Brief summary 78

Chapter 6 Conclusion and prospect 80

6.1 Conclusion 80

6.2 Prospect 81

References 82

Publications 87

Acknowledgments 88