

学校编码: 10384  
学号: 23020111153060

分类号\_\_\_\_密级\_\_\_\_  
UDC\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

移动测量系统的多传感器标定技术研究

The Research on Multi-Sensors Calibration of Mobile Mapping Systems

李迪龙

指导教师姓名: 王程教授

专 业 名 称: 计算机技术

论文提交日期: 2014 年 5 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2014 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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)》。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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）

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

---

## 摘 要

人们从外界获取的信息绝大部分来源于视觉。人们通过眼睛将获取的信息传入到大脑，再由大脑对其进行相应的处理与分析。随着传感器与计算机技术的迅速发展，计算机视觉逐渐实现了替代人眼与大脑实现对周围环境的简单识别与理解。计算机视觉的研究目标是让计算机能像人那样通过视觉观察和理解世界，这不仅要求计算机能够感知三维环境中物体的几何信息（物体的形状、位置、姿态等），还需要对它们进行存储、描述、识别与理解。相比于直接在三维环境中通过各种机械量测工具、测角和测距设备等实现三维环境信息的描述、存储等，基于数字摄影测量方法能够获取目标在某个运动状态下的瞬间信息，具有实时、高效、准确、隐蔽等众多优点。

“移动测量系统”（Mobile Mapping System）是数字摄影测量与定位多传感器的有机结合。移动测量系统主要由移动平台、导航传感器及测量传感器三个部分组成。通常以汽车、舰船、飞机为载体，通过 CCD 摄像机、激光测距仪等测量传感器，结合 GPS（Global Positioning System）、车轮计速器及惯性导航系统等导航传感器，可满足高灵活性的数据需求，用更短的时间和精力获取到更多的信息，极大地避免了现有的测量方法或手段的弊端。

本文针对移动测量系统提出了一种基于多传感器组合标定的整体方案，对包含了相机、INS、GPS 的测量系统进行标定。在对传统摄像机标定方法研究的基础上，提出一种基于多控制点的单张影像同时进行相机的内外参数标定的摄像机标定方法。在标定结果的基础上，进一步实现了已知双目相机前方交会估计同名点位置坐标的算法。

另外，本文实现了标定场的设计及对光学图像的特征点提取，提出一种三维点云靶标设计，并对三维点云中的特征点提取算法作了探讨。提出利用改进的 GPBM 算法在三维点云中进行特征提取。通过本文的研究，解决了移动测量系统中多传感器交互标定的关键技术，使其整体流程得以顺利实现。

**关键词：**数字摄影测量；移动测量系统；相机标定；特征提取

厦门大学博硕士学位论文摘要库



---

## Abstract

Among the information obtained from outside environment, most of them come from human visual perception. The information is delivered from eyes to brain, then analyzed and processed by brain. With the development of the sensors and computer technology, computer vision, which substitute humans' cerebra and eyes, can achieve the simple function of environmental recognition and understanding. The aim of Computer Vision research is to make the computer enable to "understand" a scene like a man. This capability refers to not only the objects' geometrical information perception which includes the information of shape, position, pose and motion etc., but also information describing, storing, recognizing and understanding. Compared with obtaining the 3D surrounding information through different kinds of machinery measurement tools, angle measurement and distance measurement tools, the method based on digital photogrammetry could obtain the targets' instant information in a particular motion state, so it has the advantages including real time, effecient, accuracy, conceal etc.

Mobile mapping system is the dynamic integration of digital photogrammetry and located multiple sensors. A mobile mapping system consists mainly of a moving platform, navigation sensors, and mapping sensors. Generally, the mobile mapping system choose a land vehicle, a vessel, or an aircraft as the moving platform, combining the mapping sensors (such as charge coupled devices (CCD) cameras, laser rangers etc.,) and navigation sensors (for instance Global Positioning System (GPS), vehicle wheel sensors, and inertial navigation systems (INS) etc.,) to obtain high flexibility in data acquisition, more information with less time and effort. Which significant avoid the disadvantages of the existing measuring methods.

This paper proposes a calibration program base on multiple sensors of mobile mapping system, which includes cameras, INS and GPS. Based on the research of classical camera calibration methods, the paper propose a novel camera calibration method which could calibrate the internal and external parameters by single image of mulple control points. And to further realize the solution of corresponding points coordinates by forward intersection with two cameras.

Besides, the paper proposes a design program of calibration field and a feature point extraction method. Moreover, it proposes a design program of the 3D target

---

and researches the algorithms of feature point extraction in 3D point clouds. It proposes an algorithm of feature point extraction in 3D point clouds by the modified generalized projection based M-estimator. Through the study of this paper, it solves the crucial technology of multi-sensors calibration of mobile mapping system and makes the whole technological process smooth realization.

**Key Words:** digital photogrammetry, mobile mapping system, camera calibration, feature extraction.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

---

# 目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	III
目 录.....	V
Contents .....	VII
<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 课题背景及意义 .....	1
1.2 相机标定国内外研究现状 .....	3
1.2.1 传统标定方法.....	4
1.2.2 自标定方法.....	6
1.2.3 灭点标定方法.....	9
1.3 论文的主要工作 .....	11
<b>第二章 多传感器移动测量系统原理.....</b>	<b>13</b>
2.1 移动测量系统工作原理 .....	13
2.2 多传感器间的同步 .....	15
2.3 本章小结 .....	16
<b>第三章 多传感器交互标定技术 .....</b>	<b>17</b>
3.1 多传感器交互标定框架 .....	17
3.2 标定场设计 .....	18
3.3 相机标定 .....	22
3.4 标定结果自检校 .....	32
3.5 前方交会估算目标点坐标 .....	34
3.6 本章小结 .....	35
<b>第四章 控制点精确提取 .....</b>	<b>37</b>
4.1 光学靶标设计及提取 .....	37
4.2 LiDAR 点云靶标设计及提取.....	51
4.2.1 LiDAR 点云靶标设计.....	51
4.2.2 LiDAR 点云靶标提取.....	52
4.3 本章小结 .....	59
<b>第五章 总结及展望 .....</b>	<b>60</b>

---

5.1 总结及创新点 .....	60
5.2 未来研究方向 .....	61
参考文献 .....	63
致 谢.....	67
攻读硕士学位期间的研究成果 .....	68

厦门大学博硕士论文摘要库

---

## Contents

<b>Chapter I Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Research Status.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Research Actuality of Camera Calibration .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Classical Calibration Method.....	4
1.2.2 Self Calibration Method.....	6
1.2.3 Vanishing Point Calibration Method.....	9
<b>1.3 Main Work.....</b>	<b>11</b>
<b>Chapter II The Principle of Mobile Mapping System.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 The Operating Principle of Mobile Mapping System.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Synchronization of Multiple Sensors .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Conclusion .....</b>	<b>16</b>
<b>Chapter III Mutual Calibration Technology of Multi-Sensors .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 The Frame of Mutual Calibration of Multi-Sensors .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 The Design of Calibration Field.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Camera Calibration.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Self Calibration of Calibration Results.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 Solve Corresponding Points Coordinates by Forward Intersection .....</b>	<b>34</b>
<b>3.6 Conclusion .....</b>	<b>35</b>
<b>Chapter IV Extraction of Control Points .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Optical Targets Design and Extract .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 LiDAR Point Clouds Targets Design and Extract .....</b>	<b>51</b>
4.2.1 LiDAR Point Clouds Targets Design.....	51
4.2.2 LiDAR Point Clouds Targets Extract.....	52
<b>4.3 Conclusion .....</b>	<b>59</b>
<b>Chapter V Conclusion and Prospect .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1 Conclusion and Innovation .....</b>	<b>60</b>
<b>5.2 Future Work.....</b>	<b>61</b>
<b>References.....</b>	<b>63</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>67</b>
<b>Research Achievement of Postgraduate.....</b>	<b>68</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

卫星遥感、航空遥感能够对地球进行多方位、多层次的立体式、全方位的观测，以满足大区域、大范围的国家基本比例尺地形图的测绘，是人们获取空间地理信息的主要方式。近年来，随着计算机技术、摄影测量技术、遥感技术的快速发展，人们不仅在卫星、飞机高空遥感平台上搭载多种传感器以进行遥感作业，而且也出现了以低空无人飞机、汽车、舰船等作为遥感平台获取地理空间信息的遥感技术。

移动测量系统（Mobile Mapping System, MMS）以其快速、高效、无地面控制等特点成为各行各业关注的对象[60]。移动测量系统以汽车为遥感平台，搭载高精度 GNSS（Global Navigation Satellite System）、高动态载体测姿传感器 IMU 和 CCD 数码相机，基于 GNSS/IMU 组合定位定姿传感器使得车载系统具有直接地理定位 DG（Direct Georeferencing）的能力，结合 CCD 数码相机实现了在测区内的快速定位定姿及解算目标点位置。

移动测量系统的关键技术之一是基于直接地理定位技术的多传感器（Multi-Sensors）组合技术，尤其是对多传感器进行坐标统一，信息融合等技术是移动测量系统的核心。高精度的组合系统缩短了数据获取所需的时间，与传统的地图生产和测绘模式相比，提高了生产效率、数据质量和精度。

### 1.1 课题背景及意义

移动测绘系统（Mobile Mapping System, MMS）是将 CCD 数码相机、动态位置/姿态测量单元（POS）等多个传感器集成在一个移动平台上，在基于时间同步的条件下，给移动平台提供连续的定位信息，同时获取地理空间数据信息的测量系统。

移动测量系统[1,2]按照传感器搭载平台种类的不同，可以分为星载移动测量系统（MMS for Satellites）、机载移动测量系统（MMS for Aircrafts/Helicopters）、车载移动测绘系统（MMS for Land Vehicles）、舰载移动测量系统（MMS for Vessels）和个人移动测量系统（MMS for Person），如图 1-1 所示。移动测量系

统的设计初衷就是构造模块化的系统，能够方便地安装在机动车辆或者空中飞行平台上，而且随着技术的发展，系统部件能够容易的进行更新换代。移动测量系统主要由以下部分组成：控制模块、定位定姿导航模块、数据获取模块、数据处理模块等，形成了一个具有数据实时或后处理的多任务系统，为集合数据和影像数据的获取提供了保证。移动测量系统的传感器可根据实际应用需求进行组合调整，具有良好的多样性和普适性。



(a)星载 MMS 系统 (b)机载 MMS 系统 (c)车载 MMS 系统 (d)舰载 MMS 系统 (e)单人 MMS 系统

图 1-1 移动测量系统 MMS 的移动平台

移动测量系统的技术发展可以追溯到 20 世纪初的航空摄影测量，以飞机为搭载平台，将相机安装在飞机上曝光以获取影像数据，利用立体影像重叠范围内的连接点和地面控制点，依据摄影测量中的空中三角测量平差方法，解算出影像的外方位元素，该方法被称为间接定向法[3,4] (Indirect Geo-referencing)，是移动测量系统的原始形式。

在二十世纪八十年代，随着 GPS 的出现，将航空摄影与 GPS 动态定位相结合，只需要少量的地面控制点，通过 GPS 辅助空三的平差方法就能解算出影像的对应外方位元素，该方法被称为 GPS 辅助空三法[5] (GPS Aided Aerial Triangle, GPS-AT)。同时，GPS 与相机组合应用到汽车平台上的思想被提出。

移动车载测图系统的理论研究最早可追溯到二十世纪八十年代，加拿大的一些省政府及美国州政府提出了移动式高速公路设施维护系统[6] (Mobile Highway Inventory System, MHIS)，加拿大的卡尔加里 (Calgary) 大学研发了 Alberta MHIS 系统。最早的移动车载测量系统使用航位推算传感器来进行定位定姿，包括陀螺仪 (Gyroscopes)、加速度计 (Accelerometers) 和里程计 (Odometer) 等设备，利用相对定位原理求解定位点位置坐标。

随着全球定位系统 GPS 技术的发展，GPS 能为移动平台提供据对的定位位置，从而将 GPS 和相机搭载到汽车或者飞机平台上以提高系统效率。1988 年，加拿大 Alberta MHIS 系统首先采用差分 GPS 定位技术 (Differential Global



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.