

## 偏振导航传感器标定系统的设计与实现

李成贵<sup>1,2</sup>, 孙燕峰<sup>2</sup>, 魏鹏<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学北海学院, 广西北海 536000; 2. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院, 北京 100191)

**摘要:** 依据天空中自然光的偏振规律, 设计了在实验室环境下测试并验证偏振导航传感器性能的标定系统方案, 进行了实物系统的搭建, 利用 VC++ 6.0 平台开发了该标定系统的积分球控制、高精度旋转台控制程序。经实验测试, 该标定系统的设计合理、可行, 能够满足在实验室环境下的使用要求。

**关键词:** 自主导航; 偏振光; 导航传感器; 标定

**中图分类号:** V249.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)12-0060-03

## Design of a Polarized Navigation Sensor Calibration System

LI Chenggui<sup>1,2</sup>, SUN Yanfeng<sup>2</sup>, WEI Peng<sup>2</sup>

(1. Beihai College of Beihang University, Beihai 536000, China;

2. School of Instrumentation Science & Opto-Electronics Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** A calibration system used to test polarization navigation sensors was designed in the laboratory based on the polarization law of the natural light, which has been fabricated into a prototype. The controlling programs of the integrating sphere and high-precision turn table were developed using VC++ 6.0. The experiment results indicate the rationality and feasibility of the calibration system, which can satisfy the requirements under the condition of laboratory.

**Key words:** autonomous navigation; polarized light; navigation sensor; calibration

### 0 引言

近几年, 出于对抗干扰和隐蔽性的需要, 利用地球物理特性的自主导航方式受到了广泛关注。其中, 基于大气自然光偏振特性的仿生导航方式, 以其稳定、抗干扰和覆盖范围广的特性, 成为了自主导航的研究热点。

苏黎世大学 Rudiger Wehner 教授的研究小组证实了生活在撒哈拉沙漠中的沙蚁具有相应的偏振导航行为<sup>[1]</sup>, 并仿照其复眼结构原理在移动机器人 Sahabot 上构建了偏振导航装置; A. L. Desbiens 设计了移动机器人 Rox-544, 并采用两片偏振滤光片, 结合光电二极管和差分放大器构成偏振光传感器, 用以获取天空偏振光的偏振信息<sup>[2]</sup>。在国内, 大连理工大学机械学院参照苏黎世大学的测量原理设计了相关传感器装置并进行了大量实验研究<sup>[3-4]</sup>, 合肥工业大学计算机学院则设计了一种基于四象限的小型偏振信息检测传感器<sup>[5]</sup>等。

应用环境和对象的不同导致多种偏振导航传感器

的出现, 从原理上讲, 无论何种偏振传感器, 均接收来自天空上半球 180° 的光, 这与偏振导航传感器的探测模型和原理不完全符合, 大气层的非均质性导致了偏振光模式的不稳定, 从而降低了偏振导航传感器的精度和可靠性。因此, 有必要设计偏振导航传感器的标定系统, 使其既能模拟自然界中偏振光模式的变化, 又能保证所产生偏振光的稳定性及可用性, 以便准确校准偏振传感器的精度, 而这方面的工作在国内尚无报道。

### 1 天空中自然光的偏振规律

太阳光在大气中传输时, 被大气层中的空气分子、气溶胶粒子散射和吸收, 散射过程常常要改变光的偏振状态, 造成天空散射光具有一定的偏振度分布, 考虑瑞利散射的一次散射过程如图 1 所示<sup>[6]</sup>。

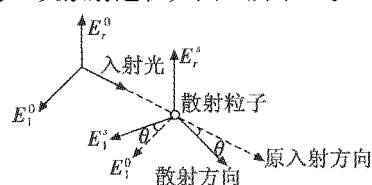


图1 瑞利粒子散射模型

Fig. 1 Model of Rayleigh particles scattering

收稿日期: 2013-02-20

修回日期: 2013-03-18

作者简介: 李成贵(1964—), 男, 河北井陘人, 博士, 副教授, 研究方向为计算机测控技术及仪器。

通常用偏振度定量描述散射光的偏振态,自然光入射时的偏振度为<sup>[7]</sup>

$$P(\theta) = \frac{I_r(\theta) - I_l(\theta)}{I_r(\theta) + I_l(\theta)} = \frac{\sin^2 \theta}{1 + \cos^2 \theta} \quad (1)$$

式中:  $P$  为偏振度;  $I_r$ 、 $I_l$  分别表示垂直和平行于散射平面(指入射波和散射波平面)的偏振强度分量;  $\theta$  为散射角,定义为入射光与观测方向的夹角。

### 2 系统整体方案设计

据理论分析知,天空偏振光模式虽然随时间、地点的变化而变化,但其具有两条对称线:一条是与太阳角距为 90° 的最大偏振线;另一条是过太阳和天顶的太阳子午线,从整体上看存在比较稳定的分布规律。因此,在实验室环境下标定偏振传感器,搭建偏振光源是系统的核心<sup>[8-9]</sup>。

本方案采用美国 Labsphere USS-2000 积分球产生均匀输出光,积分球的均匀光源采用 20 in (1 in = 2.54 cm) Spectralect 涂料积分球,配有 3 个 35 W 内部灯和 1 个 100 W 外部卤钨灯,其中外部光源由衰减器控制输入光强,8 in 开口可输出从 0 ~ 18000 cd/m<sup>2</sup> 亮度水平。在输出口前放置线偏振片改变输出光为线偏振光,偏振片是产生偏振光的关键器件,要求偏振片有较高的消光比、透射性和均匀性。线偏振片安置在高精度旋转台上,旋转台带动偏振片转动,从而精确控制偏振光偏振方位角,设计时要确保精密转台的精度比偏振传感器的感知精度高一个数量级。

标定系统整体方案如图 2 所示。

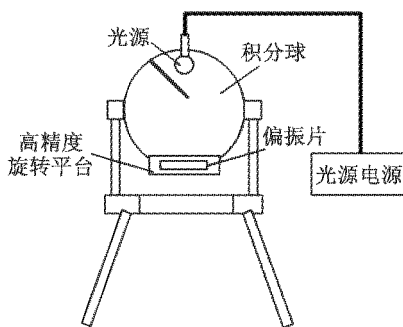


图 2 系统整体方案

Fig. 2 Calibration system solutions

### 3 控制程序设计

偏振导航传感器标定系统的控制包括两大部分:积分球的光源控制、探测器控制和衰减器控制;高精度旋转台的控制。

#### 3.1 积分球控制

积分球的光源及探测器由其自身的 SC6000 可编程辐射光度计控制,并且用积分球装置自带的 MC-

1000 衰减器控制器控制挡板的运动,从而改变外部卤钨灯入射到积分球内的光强,实现积分球内光强的连续可调。

积分球的 SC6000 可编程辐射光度计、MC-1000 衰减器的控制通讯采用网络通讯接口,在 VC++ 6.0 环境下用 MFC 提供的 CSocket 类实现网络通信。通讯协议采用 TCP/IP 协议,分层模型由网络接口层、网络层、传输层和应用层组成。网络接口层是 TCP/IP 协议的最底层,负责接收 IP 数据报并进行比特流传送;网络层负责相邻计算机之前的通信;传输层提供应用程序间的通讯功能;应用层向客户提供一组常用的应用程序。

通过 SC6000 设备可实现 4 个光源和探测器的控制。首先,创建套接字并进行服务器连接;连接成功后,可根据控制协议编写相关的控制函数。图 3 为 SC6000 可编程辐射计的控制流程。

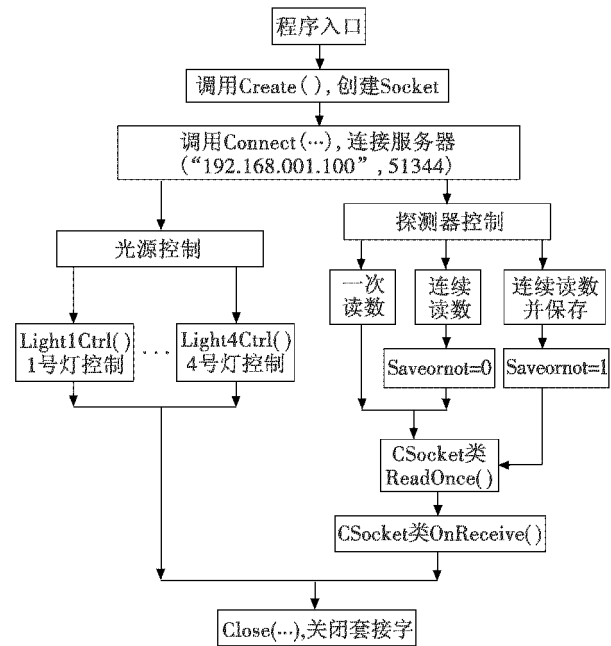


图 3 SC6000 可编程辐射计控制流程

Fig. 3 SC6000 programmable radiometer control diagram

MC-1000 衰减器控制器的结构为:挡板的运动状态通过步进电机控制实现,步进电机由 MC-1000 衰减器内部的 Ethernet-to-RS-232 转换器进行命令传输,MC-1000 衰减器与 PC 机的通讯采用网络通信方式,该电机装置中配有一个限位开关,用于电机的定位操作。开发系统控制软件时,只需关注 MC-1000 衰减器与 PC 机之间的通讯即可。

#### 3.2 高精度旋转台控制

高精度旋转台的控制采用串行 RS232 接口通讯, DB-9 型连接器,三路通信线(地、发送、接收)。串行通信中,对于每个串口对象,只有一个缓冲区,发送和接收都要用到,须建立同步机制,使得在同一时刻只能进

行一种操作,否则通信就会出错。

在 VC++6.0 环境下,本系统串口通讯方式采用 Windows API 函数实现,针对串口相关函数的操作和串口的设置流程如图 4 所示。

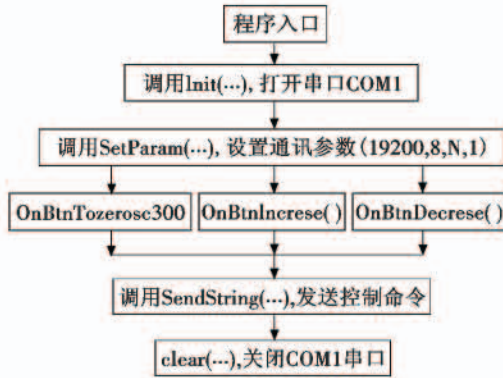


图 4 高精度旋转台控制流程

Fig. 4 High-precision turntable control diagram

### 4 标定系统性能测试

偏振导航传感器标定系统的关键是需要产生偏振方位可调的偏振光源,光源采用光学积分球设备,可输出均匀的漫反射光束。为了改变光束性质为线偏振光,在积分球出口前放置偏振片,从理论上讲,透过偏振片的光束应具有线偏振特性。但由于光源自身及周围环境的影响,对所得的线偏振光需要进行消偏比的测试,消偏比是表征偏振相关器件、晶体、光辐射源以及光学系统等的偏振特性的重要参数,在数值上等于主透射方向上的透射比和消光方向的透射光之比。

根据国家标准 GB/T 14077-93《双折射晶体和偏振器件测试规范》<sup>[10]</sup>,采用双镜测试法原理及相关的计算公式,偏振光源所使用的偏振片的测量方案如下:使用上海光学仪器厂的 5W-F550 平行光管作为光源,该光源出口口径 55 mm;探测器为美国 COHERENT 公司的光功率计 OP-2 VIS 探头和显示表头 FieldMaxII,及其配置的光功率计接口软件进行数据读取。测试步骤如下所述。

1) 搭建光路系统:平行光管前放置两个旋转台,旋转台上固定偏振片,后端放置光功率计 OP-2 VIS 探头,光路系统如图 5 所示。

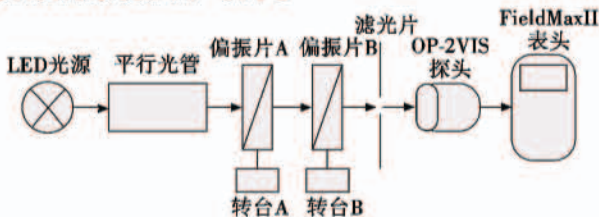


图 5 光路系统图

Fig. 5 Light path diagram

2) 不加旋转台 B,转动旋转台 A,调整其位置至光强值最大处,保持不变。

3) 加入旋转台 B,转动一周,记录变化过程中的光强数据(FieldMaxII 表头配置的接口软件有记录功能),界面如图 6 所示。



图 6 FieldMaxII 表头记录光强的软件界面

Fig. 6 Light intensity recordings of FieldMaxII meter

4) 分析数据中的最大值、最小值,作比求出消偏比数据。为使数据可靠,记录旋转台 B 在转动一周过程中光强最大值及光强最小值时的位置,分别在两个位置处连续记录 3000 个数据,求其平均作为稳定值,再进行运算。消偏比测量数据如表 1 所示。

表 1 消偏比测试数据(平行光管为光源)

Table 1 Test data of depolarization ratio (collimator tube for light source)

测量次数	1	2	3	4	5	平均值	标准差
消偏比	9392.8	9473.4	9564.9	9476.1	9501.2	9481.7	61.9

因最终偏振光源的设备为积分球,其输出的光为完全杂散光,没有确定的方向;为分析以积分球为光源的偏振光源输出光束的消偏比,同样对以积分球为偏振光源的光束消偏比,在几种光源组合点亮的情况下进行了测量,相关数据如表 2 所示(条件说明:输出孔为 15 mm×15 mm,520 nm 滤光片,记录参考 ZERO 值为 -0.1~0.1 nW)。

表 2 消偏比测试数据(积分球为光源)

Table 2 Test data of depolarization ratio (integrating sphere for light source)

光源状态	只放入 A 偏振片 A、且调整其快轴方向为垂直时/ $\mu\text{W}$	只放入 A 且其快轴方向为平行时/ $\mu\text{W}$	同时放入 A、B,且两者快轴相互垂直时/ $\text{nW}$	消偏比 $\rho$
1 号灯亮	1.207	0.315	0.314	1090
1、2 号灯亮	2.442	0.638	0.633	948
1、2、4 号灯亮	3.460	0.919	0.914	1077
四只灯全亮	4.830	1.281	1.279	752

分析表 1 和表 2 数据知,偏振片参数指标的测量效果与光源亮度、出光孔尺寸、偏振片位置精确度等因

(下转第 67 页)



- mation quantification of infrared remote sensing[J]. Optical Technique, 2007, 33(2):245-248.
- [3] SUI Zuoning, WEI Jianqiang, LI Jingfeng. Extended area blackbodies[J]. Measurement & Test Technically Communion, 2008, 13(2):313-315.
- [4] GU Jingliang, ZHANG Hai, ZHANG Ping. Study on the object simulation targets system with IR imaging[J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(11):16-18.
- [5] HU Tieli, LI Xudong, FU Jianming, et al. Double-blackbody unit for measuring parameters of infrared cameras[J]. Applied Optical, 2006, 27(3):246-248.
- [6] LI Yingjie, LÜ Xiangyin, WU Xiaodi, et al. Calculations of infrared radiation of space target using finite difference method[J]. Infrared and Laser Engineering, 2010, 39(2):218-219.
- [7] WANG Lei, HU Yafei, YANG Zhu. Research on temperature distortion phenomenon caused by connection of platinum heatresistance[J]. Coal Engineering, 2005, 11(9):68-69.
- [8] YANG Yongzhu. Linear compensation for platinum resistance thermometers with high accuracy and its realization in intelligent instruments[J]. Meter Technology and Sensor, 2000, 10(6):44-46.

(上接第 26 页)

- network services[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3):6714-6720.
- [14] GU Q W, CHEN G, ZHU L L. Short-term marginal price forecasting based on genetic algorithm and radial basis function neural network[J]. Power System Technology, 2006, 30(7):18-21.
- [15] AMJADY N. Day-ahead price forecasting of electricity markets by a new fuzzy neural network[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 2006, 21(2):887-896.

(上接第 62 页)

素有关,接近理想的情况下,待测偏振片的消偏比指标能够达到  $10^{-3}$  量级。同时发现,外界环境对测试结果影响很大,为此,在实验中搭建了暗室环境以降低干扰。

## 5 结语

针对目前偏振导航传感器的广泛应用,及其标定装置不完善的现状,提出了一种标定系统的整体设计方案,重点介绍了偏振光源、滤光片等部件的选择,并完成了系统搭建。为提高交互性能,在 VC++ 6.0 环境下,开发了标定系统的积分球控制和转台控制程序,实际操作表明,所设计的系统装置能够在实验室环境下实现天空自然光偏振模式的模拟,对偏振光消偏比参数的测试方案可行,测试结果能够满足标定需求。

## 参考文献

- [1] ROSSEL S, WEHNER R. Polarization vision in bees[J]. Nature, 1986(323):128-131.
- [2] DESBIENS A L. Walking like an insect: A complex system design[Z]. Science Fair, 2001.
- [3] 褚金奎,赵开春. 仿昆虫复眼偏振敏感测角光电模型研究[J]. 纳米器件与技术, 2005(12):541-545.
- [4] 褚金奎,赵开春,王体昌,等. 仿生偏振导航传感器实验模型的构建与标定[J]. 微纳电子技术, 2007(8):376-378.
- [5] 杨姜伟,张旭东,高隽,等. 一种利用偏振光的组合导航移动系统设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2010, 31(8):102-105.
- [6] 袁兴起,陈延如,赵琦,等. 多粒子的侧向散射光偏振性质分析[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(s2):1097-1098.
- [7] 孙晓兵,洪津,乔延利. 大气散射辐射偏振特性测量研究[J]. 量子电子学报, 2005, 22(1):111-115.
- [8] 闫丽荣,高爱华,刘卫国. 高消光比多偏振态光源系统设计[J]. 应用光学, 2012, 33(4):660-665.
- [9] 戴书麟. 偏振光源系统: 中国, CN02249788. 9[P]. 2002-11-22.
- [10] 国家技术监督局. GB/T 14077-93 双折射晶体和偏振器件测试规范[S]. 北京:国家技术监督局, 1993.