

某静止卫星海洋辐射计指向镜的操控软件设计

陈建栋¹, 房陈岩², 杨静³

(1. 上海济物光电技术有限公司, 上海 201815; 2. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083
3. 上海德虹科学器材有限责任公司, 上海 200083)

摘要: 静止卫星海洋成像辐射计是测量海洋目标辐射特性的被动式遥感器; 为了使静止卫星探测器达到对探测区域的全覆盖, 需要系统计算机处理器驱动控制精密机械转台带动光学指向镜规律运转; 文章利用 Visual C++ 开发工具设计一款成像辐射计指向镜的操控软件, 通过串口通讯驱动控制指向镜, 使得海洋成像辐射计依靠二维指向镜做东西与南北方向的运动指向, 实现覆盖区域的调整和观测; 在设计中调用了 PI 公司六轴转台的库函数, 运用多线程技术, 控制基于 PI 转台的指向镜巡扫模式可调、运动速度可调; 通过软件的增量化设计和测试, 结合整机在海上塔台对水体光谱连续采集的外场试验, 验证了该软件的设计实现达到海洋辐射计指向镜精密控制的目标, 有效提高了地面光学测试和数据处理的工作效率。

关键词: 静止卫星; 指向镜; VC++; 多线程技术; 库函数; 多参数可调

Design of Pointing Mirror Control Software for the Geostationary Satellite Ocean Radiometer

Chen Jiandong¹, Fang Chenyan², Yang Jing³

(1. Shanghai Jiwu Optoelectronic Technology Co., Ltd., Shanghai 201815, China;
2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;
3. Shanghai Dehong Scientific Equipment Co., Ltd., Shanghai 200083, China)

Abstract: Geostationary satellite ocean imaging radiometer is a passive remote sensor that measures the radiation characteristics of marine targets. In order to achieve full coverage of the detection area by the stationary satellite detector, the system computer processor needs to drive and control the precision mechanical turntable to drive the optical pointing mirror to operate regularly. This article uses Visual C++ development tools to design an imaging radiometer pointing mirror control software, and drives the pointing mirror through serial port communication, so that the marine imaging radiometer relies on the two-dimensional pointing mirror to do east-west and north-south motion pointing to adjust the coverage area. In the design, the library function of PI company's six-axis turntable was called, and the multi-threading technology was used to control the directional scanning mode and motion speed of the PI-based turntable. Through the software's incremental design and testing, combined with the external field test of the machine's continuous acquisition of the water body spectrum at the offshore tower, it is verified that the software design achieves the goal of precise control of the ocean radiometer pointing mirror, which effectively improves the ground optical testing and data processing efficiency.

Keywords: Geostationary satellite; pointing mirror; VC++; multi-threading technology; library function; multi-parameter adjustable

0 引言

静止卫星海洋成像辐射计是用于在静止轨道上进行水色定量观测的遥感仪器。其主要任务是海洋生态环境探测、海洋灾害探测、海洋动力过程探测、大气探测, 为海洋科学研究等服务^[1]。

静止轨道水色卫星与地球同步, 尽管只覆盖全球部分区域, 但是由于相对地球静止, 可将观测周期由天提高至小时, 实现高时间分辨率的对地观测, 尤其有助于复杂多变的短期过程研究^[2]。虽然低轨海洋卫星时刻在监测海洋状况, 但是同一个地区每天只能观测一次, 看不到一天内

的变化情况。无法观测整个海洋现象一天内是如何动态变化的, 因此需要发展静止水色卫星^[3]。静止轨道遥感卫星探测具有高时间分辨率连续探测等优势, 已经成为当前国际遥感探测领域一个重要发展方向^[4], 而海洋卫星定轨与遥感定位精度是当前行业研究热点^[5]。

静止卫星成像辐射计样机 GOR (geostationary ocean radiometer) 采取二维指向镜加滤光片轮和面阵探测器的技术方案。通过多角度、多谱段、多通道成像进一步提高稳定性和信噪比^[6]。静止卫星指向镜基于超精密六轴转台, 仪器依靠二维指向镜做东西与南北方向的运动指向, 实现覆盖区域的观测和调整。由于二维指向镜是各个光学谱段的总输入口, 因此二维指向镜的设计和控制运转尤为重要。

本文借助 GOR 光学和机械平台, 设计了一款通过串口通讯控制海洋辐射计指向镜转动的操控软件, 完成转台实时操控和自动运转控制以及显示功能。

收稿日期: 2019-12-18; 修回日期: 2020-05-20。

作者简介: 陈建栋(1982-), 男, 江苏海门人, 硕士, 工程师。主要从事航天测控技术、智能控制方向的研究。

1 光学系统转台结构及原理

超精密 6 自由度 PI (physik instrumente) 公司定位转台应用于静止卫星海洋成像辐射计预研项目的二维指向镜。设计使用中, 指向镜的安装位置如图 1 所示, 左侧板为指向镜的安装位置, 右侧板为基座, 中间六轴受控可伸缩, 通过微机驱动控制达到左侧板六自由度运动的效果。

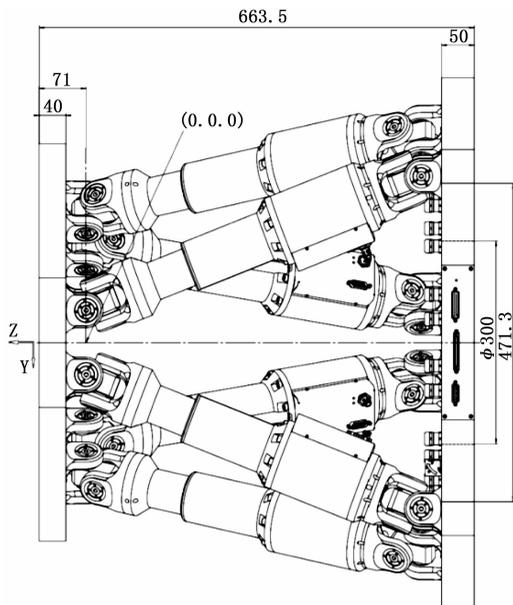


图 1 超精密 6 自由度 PI 公司定位转台示意图

在 GOR 项目中采用二维画幅式成像模式, 通过面阵静态成像获得静态面阵图像, 通过指向镜运动, 实现一定范围内视轴的指向。二维指向镜有两个转轴, 转轴定义正交的 X 轴和 Y 轴, 其中 X 轴需要转动范围 $\pm 5^\circ$, Y 轴需要转动范围 $\pm 10^\circ$ 。指向镜 X、Y 坐标轴的转动通过机械结构设计演化为对 PI 转台的 U 轴和 V 轴的转动控制。GOR 依靠二维指向镜实现观测区域的调整和覆盖, 海洋探测目标通过光学系统传递给后端探测器, 光学系统如图 2 所示。

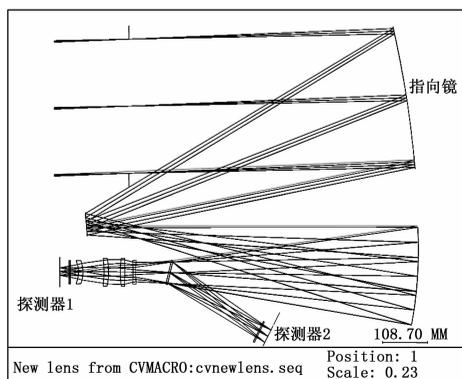


图 2 光学系统示意图

光学转台系统原理为: 对成像目标探测需要作的视轴转动, 通过系统计算机处理器驱动控制精密机械转台运动, 带动光学指向镜规律运转, 从而控制光路的传递方向, 使

探测器达到对探测区域的全覆盖。

2 设计需求

根据外场试验的光学要求, 需要控制转台按 5×5 的矩阵点, 按蛇形逐点运动到每个位置, 停顿一段时间且该时间可调, 以便于指向镜的稳定和光学探测系统做一定的采集存储图像数据工作。在某些特殊情况, 这样的连续运动状态, 需要急停和继续自动运转, 这就需要转台到某点位置作停留时, 可以控制转台暂停当前状态直到继续自动运转。

由于 PI 公司转台的基础控制软件是基于 LabView 的上位机软件, 再开发性低, 不具备试验所要求的软件功能。而通过手动操作, 又有操作困难, 定时不准的问题。外场试验效率较低。针对这一问题亟需开发一款具有定时运转、定点停顿、多参数可调等功能的定制自动软件。

3 操控软件的全局设计

操控软件采用结构化程序设计方法。基本思路是: 把一个复杂问题的求解过程分阶段进行, 每个阶段处理的问题都控制在人们容易理解和处理的范围之内。具体说采用自顶向下、逐步细化、模块化设计、结构化编码来保证得到结构化的程序^[7]。在 Windows 应用程序中, 对话框是应用程序界面的重要形式。不论是打开文件, 还是查询数据, 以及数据交换时都会用到对话框, 对话框是实现人机交互的一条途径^[8]。软件使用 VC++ 开发设计, 为了便于编程嵌入小番茄控件。利用 MFC 应用程序向导创建对话框应用程序。在 MFC 应用程序向导可选单文档、多文档、模态和非模态对话框的创建。由于应用程序只是在单个对话框中实现特定功能, 软件设计选择模态对话框的创建和显示。使用 MFC 搭建软件整体框架。添加操作按钮和输入输出编辑框, 软件在功能上共分为四大模块: 通讯的建立和结束模块、参数导入模块、运动控制模块 (含位置初始化、自动运转模块、UV 轴转角定位控制、多线程技术子模块)、数据显示模块。

4 软件模块的实现方法

操控软件与 PI 的平台控制模块接口相互连接, PI 的平台控制模块库函数均是以动态链接库的形式提供。动态链接库通常用于封装一些功能函数, 在不公开源码的情况下可以供其它应用程序开发使用。PI 公司二次开发程序包中提供了动态链接库文件 PI_GCS2_DLL.dll 和 PI_GCS2_DLL.h^[9]。操控软件设计中需要插入和调用 PI 公司二次开发程序包中的库函数文件。整个软件工程项目建立后, 将这两个文件加入到项目工程文件。

在软件功能模块开发中需要调用函数库的以下函数: 与 PI 机构建立 RS-232 串口通讯连接函数 PI_ConnectRS232 (2, 115200); 断开连接函数 PI_CloseConnection (ID); 移动某轴到某绝对位置函数 PI_MOV (ID, axis, &dVal); 得到实际位置函数 PI_qPOS (ID, axis, &dPos); 检查轴系是否有所运转函数 PI_IsMoving (ID,

axis, &bIsMoving)。其设计需求功能如图 3 所示。

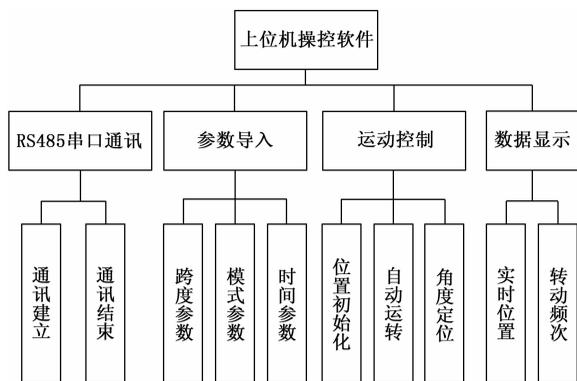


图 3 操控软件功能图

4.1 通讯的建立和结束模块

操控软件与 PI 的平台控制模块可以通过以太网或 USB2.0 或串口通讯方式。串口通讯连接简便快捷, 选择异步串口通讯方式。在计算机中对 RS-232 端口转接成 RS-485, 实际通过 RS-485 串行接口进行通讯, 提高通讯距离和可靠性。通讯的建立和结束模块实现过程如下, 主要是连接串口和设置波特率, 关闭串口。打开和关闭普通定时器。

4.2 参数导入模块

操控软件的参数导入模块由跨度参数、自动运动模式参数和时间参数 3 部分组成。自动周期运动模块 U 轴和 V 轴的单次跨度参数可以设置。PICTLDlg.cpp 主程序中, 初始化为 0.3°, 开始自动运动模式下, 若需要设置新的运动跨度值, 可以从界面编辑框输入新值, 程序从 IDC_EDIT5 编辑框获取输入值传递给 U_step、V_step 变量。

自动运动模式参数包括常用 2×2、5×5 模式和自设模式。由于试验中常用的巡扫模式为 2×2、5×5 模式, 因此程序中通过添加单选按钮控件, 用户可选择 2×2、5×5 和自设模式中的一种。自设模式运动频次可以设置, 需要通过该模式下的编辑框输入 2~10 之内的整数输入, 这样可以增加程序的使用灵活性和拓展性。该参数的输入值具有记忆功能, 在程序关闭后, 巡扫模式修改按钮按下后, 参数存储在 9pictl.ini 文件中。程序重新开启, 会初始化上次的模式选择。

巡扫模式下, 用户需要作一段时间的图像数据存储和处理工作。转台运转到特定点的坐标位置后, 需要停顿一段时间。该参数定义为运动时间间隔 InterTime。通过 InterTime 数据对象传递给调用的系统 Sleep(1 000 * InterTime) 函数, 调配停顿时间。

4.3 运动控制模块

1) 位置初始化:

自动运转是基于光学指向镜的初始化位置而运转的。在自动运转之前, 需要找到指向镜的零位。软件设计回归零位按钮, 通过定位控制函数 OnReset() 使六轴回归零位。

2) 自动运转模块:

操控软件中的自动周期运转模块, 采用循环结构程序设计。静止卫星成像辐射计的指向镜运转模式缺省为 5×5 巡扫模式, 而且该模式的程序控制具有典型性。本文以巡扫 5×5 运动模式来论述程序算法设计, 自动巡扫 5×5 模式下 PI 转台运动轨迹为单点蛇行运转。转台运动的轨迹和转次计数如图 4 所示。

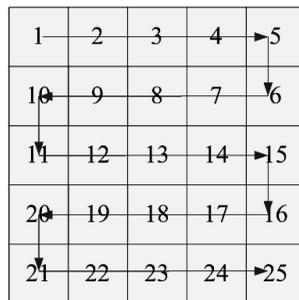


图 4 定位转台 5×5 模式巡扫模式示意图

采用增量计算当前运动轨迹下一点的坐标, 通过函数 PI_MOV(ID, axis, &dVal), 移动某轴到某绝对位置。每次运动方向为直线, U、V 两轴并非同时运动。通过函数 PI_MOV(ID, axis, &dVal), 移动某轴到某绝对位置。在实际使用中横向定义为 U 轴, 纵向定义为 V 轴。采用 for() 语句进行两极嵌套循环。通过计算纵向坐标点 g_j 数据的单双数, 判断 U 轴正向转动还是反向转动。UVSet_Upos 为初始化的 U 轴坐标值。通过 g_i 变量的自动加一, 完成 0~1, 1~2, 2~3, 3~4 四次横向转动。反向转动反之亦然。完成一行横向运转后, 跳出第二级 for 循环, 纵向转动一个格点, g_j 变量自动加一, 若第一级 for 循环仍然满足运行条件, 则再次运行第二级 for 循环。依次反复, 直到 g_j 变量由 4 变为 5 后, 跳出两极循环从而周期运动功能完成。

软件编写以用户为本, 在使用过程中编写者与用户相互沟通协调, 软件功能增量添加, 逐步变大变复杂。在程序后续版本还附加停转控制功能, 二级 for 循环中适时加上 0x55 == StopFlag 判断, 若用户发出急停指令, 通过 break 语句跳出两级 for 循环, 停止自动运转模式。当用户恢复状态后可通过继续按钮来继续进行当前自动运转的状态。

指向镜的转台 5×5 模式巡扫模式自动运转设计算法流程图如图 5 所示。

自动运转 5×5 巡扫模式程序代码设计如下:

```

for(g_j=0;(g_j<5)&&(0x55==StopFlag);)
{
//g_i 为运动频次
for(g_i=0;(g_i<4)&&(0x55==StopFlag);)
{
char axis_u[] = "U"; //控制 U 轴运动
if(0==g_j%2) //j 为 0,2,4 行正转
! MoveTo(ID, axis_u, UVSet_Upos+Ustep*(g_i+1));

```

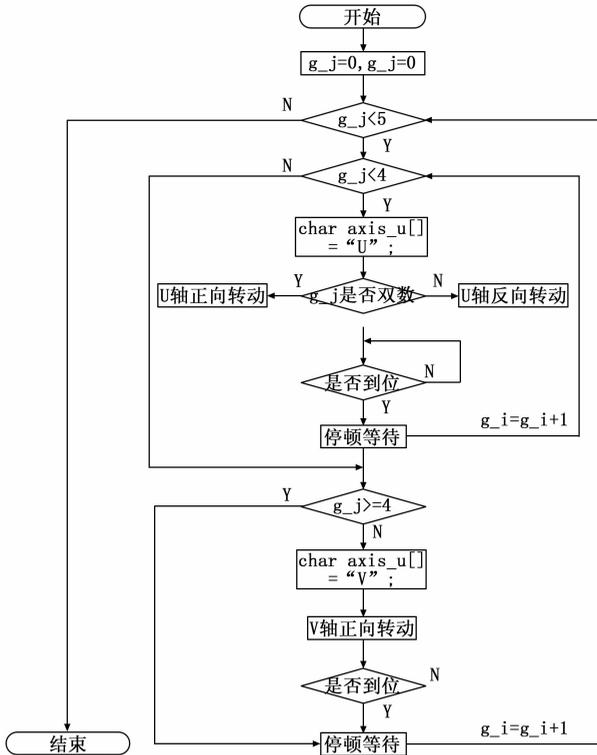


图 5 自动运转 5×5 巡扫模式程序设计流程图

```

else//j 为 1,3 行回转
MoveTo(ID, axis_u, UVSet_Upos+Ustep * (3-g_i) );
if (! (4==g_j && 3==g_i) )//最后一点不停顿
Sleep(1000 * IntTime); //到位后停顿 60s 间隔时间
if (0xAA == StopFlag) //查询暂停模式 break;
g_i++;
}
// V 转一下,j 为 4 时 V 轴已转完,内循环暂停
if ((g_j < 4) && (0x55 == StopFlag))
{
char axis_v[] = "V"; //转到 V 轴运动
MoveTo(ID, axis_v, UVSet_Vpos+Vstep * (g_j+1) );
Sleep(1000 * IntTime); //到位后停顿 60s
}
if (0xAA == StopFlag) //查询暂停模式
break;
g_j++;
}
    
```

3) 转轴定位控制模块:

U 轴的转动控制操作, 通过编辑框中输入的定位数据。V 轴类似。通过 UV 轴定位按钮调用 OnUVSet () 函数, 使得转台定位于给定的位置。

4) 多线程控制:

由于在自动运转控制程序中, 使用了普通定时器函数 SetTimer (1, 20, NULL) 并设置定时器的时间周期为 20 ms。程序编写之初, 转轴位置的显示刷新时间也采用该定

时周期。在控制软件和转台机构联机调试中, 出现转轴定时运转的过程中, 位置数据显显卡顿, 并非实时显示, 而是到一个位置镜面机构停顿下来时, 才显示数据。分析原因是程序中普通定时器函数中, 包含转轴位置的显示和循环转动控制两个任务。其中循环转动控制任务比较费时, 占用较多资源。在一个定时器循环中产生冲突, 出现抢占资源情况。如果用户在程序中需要同时实现多个操作, 必须采用多线程技术^[10], 实现界面操作的实时控制和响应。因此软件采用改进的方法, 添加多线程控制函数。将位置数据显示放在普通定时器里处理, 自动运转控制放在新创建的线程里处理。由于使用 MFC 搭建软件整体框架, 在 MFC 应用程序中, 使用 AfxBeginThread 函数创建一个线程比较简便易行。定义一个名为 ThreadData 的结构体数据类型, 包含停顿时间参数, U 向跨度和 V 向跨度。

自动运转 5×5 巡扫模式控制下定义一个 ThreadData 数据类型的 TD 变量, 把具体数据赋值给 3 个成员函数。使其在内存中占用一段连续空间。并拥有一个首地址 &TD。然后通过 AfxBeginThread 函数创建转台运转控制线程: AfxBeginThread (MoveThread, (LPVOID) &TD, 0, 0, 0, NULL);

调用 MoveThread () 线程函数, 通过首地址 &TD 传递数据参数, 执行转台运转循环。定义一个线程函数, 用于执行转台运转循环。

```

UINT MoveThread(LPVOID pParam) //转台运转控制线程
{
ThreadData * pPm = (ThreadData *) pParam;
unsigned short IntTime = pPm->InterTimeThread;
double Ustep = pPm->U_stepThread;
double Vstep = pPm->V_stepThread;
for (g_j=0; ; ) { ..... } // g_j 为 V 运动频次
}
    
```

4.4 数据显示模块

数据显示模块包含 UV 轴实时位置监视和自动运转频次显示组成。UV 轴实时位置只要转轴运转, 通过采集 U_pos, V_pos 数据。自动运转模式下, 设置了图像计数器 PictureNum, 若运动一个位置, 则图像计数器自动加一, 通过界面显示, 可使用户得知当前运动频次。通过设置一个 20 ms 的普通定时器, 通过更新对话框中显示数据, 得到位置数据和运动频次显示。应用多线程程序设计之后, 再次通过控制软件和转台机构联机调试, 操控软件能实时显示和响应界面操作。之前界面拖动, 数据显示, 界面最大化, 最小化, 操作卡顿的问题得以解决。

5 软件实现与外场试验

该静止卫星指向镜的操控软件采用模块化的程序设计方法, 这种程序设计方法便于程序编写, 阅读, 修改和维护, 能提高程序可靠性, 保证程序的质量。该软件设计是一个项目实战过程, 在设计中先搭好整体框架, 再把各个模块增量设计加入。软件开发是与用户相互沟通协调的过

程, 有一个增量添加逐步变大变复杂的过程。例如自动运转模块从逐行扫描模式, 经过沟通改为蛇形扫描。软件增加巡扫模式选择、停转控制、一键初始化零位功能。自动运转通过多线程技术, 解决多任务冲突、解决程序实时性、解决卡顿和等待问题。操控软件设计完成后通过编译调试, 生成的操控应用软件界面如图 6 所示。



图 6 操控软件界面图

项目组在杭州湾大桥构建了基于海上塔台的水体光谱连续采集系统。使用本文所设计的 GOR 操控软件进行外场的多次试验, 基于现场观测资料, 研究人员系统评估了 GOR 的遥感监测精度; 海上塔台观测的水体光谱资料已应用于我国“天宫二号”空间实验室水色成像仪的在轨测试。静止卫星指向镜基于 PI 六轴转台特有的六柱伸缩机械结构, 采用自动运转操控软件, 到位后指向镜自动停顿, 时间可调, 克服了大惯量转动体在稳定位置附近微振动的问题^[11], 实现了静止卫星指向镜的高分辨率定位。

6 结束语

本文在 Microsoft Visual C++ 6.0 应用程序开发环境下, 利用微软基础类库 MFC 设计开发静止卫星成像辐射计样机 (GOR) 指向镜的上位机操控软件, 软件设计中通过

(上接第 152 页)

灵活方便; 设计总线管理软件解决总线操作难度大, 协议复杂的问题, 提高效率; 自动测试在数据库中部署, 减轻工作量, 通用性好。测试软件完全覆盖测试内容, 符合测试要求, 已成功应用于远程接口单元的现场测试中。

参考文献:

[1] 郑伟, 解向军. 先进战斗机综合机电系统试验技术研究 [J]. 飞机设计, 2010, 30 (5): 31-35.

[2] 杨晓峰, 刘玉娇, 姚恩涛. FPGA 动态局部重构在通用远程接口单元设计中的应用 [J]. 测控技术, 2012, 31 (9): 111-113.

[3] 柴宪宏, 钱晓明. 基于 LabVIEW 的高压高速液压马达试验系统研究与开发 [J]. 工业控制计算机, 2013, 26 (1): 11-13.

[4] 聂进方, 潘泉, 张大林. 基于 LabView 的高空模拟舱模拟

RS-485 串口通讯方法连接 PI 公司的超精密六轴转台驱动器及六轴转台。使用多线程技术, 完成基于 PI 转台的 GOR 指向镜巡扫模式自动控制, 运转多参数可调, 数据显示、自动运转急停和继续等多种功能。

通过外场多次试验, 充分验证了本文所设计操控软件的功能和可靠性, 证实该软件达到设计要求。该软件大大提高了外场试验效率, 通过优化界面、功能嵌入, 在后续项目开发中可以编写多视图的数据采集处理和操控的一体化软件, 体现了本软件良好的兼容性和可扩充性, 可以为静止卫星海洋成像辐射计的型号化做好准备。

参考文献:

[1] 王泉斌, 秦平, 赵晓晨. 世界首颗静止轨道海洋水色卫星应用研究进展 [J]. 海岸工程, 2017, 36 (2): 74-75.

[2] 牟冰. 基于静止轨道水色卫星 GOCI 的渤海浑浊水体遥感信息提取方法研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.

[3] 潘德炉. 卫星海洋水色遥感发展需解决三大问题 [A]. 第 20 届中国遥感大会 [C]. 2016.

[4] 黄思婕. 地球静止轨道大动态范围信息获取技术研究 [D]. 上海: 中国科学院上海技术物理研究所, 2015.

[5] 林明森, 何贤强, 贾永君. 中国海洋卫星遥感技术进展 [J]. 海洋学报, 2019, 41 (10): 99-112.

[6] 龚惠兴, 等. 遥感技术及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.

[7] 谭浩强. C 程序设计 (第四版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

[8] 明日科技. Visual C++ 从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

[9] SM151E Software Manual [Z/CD]. PI, 2014: 22-26.

[10] 贺林波, 刘爱东, 于志军, 等. 光电标校装置上位机软件设计与实现 [J]. 计算机应用, 2017, 37 (S2): 252-253.

[11] 方丹, 傅雨田. 大惯量转动体在稳定位置附近微振动的检测 [J]. 振动与冲击, 2006, 25 (5): 168-170.

[1] 王建新. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用 [M]. 北京: 北京化学工业出版社, 2006.

[2] 王建新, 杨世风, 隋美丽. LabWindows/CVI 测试技术及工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.

[3] 张秋菊, 刘珍阳. 航空电子自动测试设备的开发与实现 [J]. 光电技术应用, 2006 (6): 45-49.

[4] 王海青. 航空电子系统综合技术分析 [J]. 飞机设计, 2007, 27 (1): 55-61.

[5] 赵宇翔, 樊晓光, 王徐华. 基于总线 ICD 测试方法研究 [J]. 现代电子技术, 2010 (8): 95-97.

[6] 罗志强. 航空电子综合化系统 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.

[7] 蒋红岩, 张晓军, 刘雷, 等. 基于虚拟仪器的航空计算机自动测试系统设计 [J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2013, 43 (4): 549-551.