

LAMOST 光纤定位中间试验系统的研制及测试^{*}

彭小波, 翟超, 胡红专, 李为民, 邢晓正

(中国科学技术大学精密机械与精密仪器系, 安徽合肥 230027)

摘要:介绍了 LAMOST 光纤定位中间试验系统的研制及测试情况. 试验系统主要包括如下几个部分: 控制主机, 单元控制器, 驱动电路, 19 个光纤定位单元, 面阵 CCD 摄像头, 图像采集卡, 以及自行开发的控制程序. 进行的定位精度测试表明系统各单元的定位精度总体满足要求(不超过 $40 \mu\text{m}$).

关键词: LAMOST; 光纤定位; 中间试验系统; 定位精度

中图分类号: TH743

文献标识码: A

0 引言

LAMOST(大天区面积多目标光纤光谱望远镜)项目是我国正在进行的一项大科学工程, 直径 1.75 m 的焦面板上 4 000 根光纤的定位技术是其中的关键技术之一, 邢晓正教授 1996 年提出了基于分区思想的并行可控式双回转光纤定位系统, 该系统将整个焦面板划分为 4 000 个小区, 相邻小区之间有重合区域, 每个小区由一个双回转光纤定位单元构成, 每个单元包括一个中心轴和偏心轴, 两轴的组合作用可把单元上的光纤定位到单元观测范围内的任意位置, 单元的结构示意如图 1 所示^[1].

我们在 2000 年成功研制出一个光纤定位单元, 但是单个定位单元的成功距离双回转光纤定位系统最终能应用到 LAMOST, 中间仍存在着很多需要进一步研究的问题, 如控制系统架构设计问题、干涉的检测及处理问题等等. 所以有必要研制一个中间的过渡系统, 对这一系列的问题展开研究. 为此, 我们从 2001 年开始搭建一套含 19 个单元的 LAMOST 光纤定位中间试验系统(文中简称中试系统).

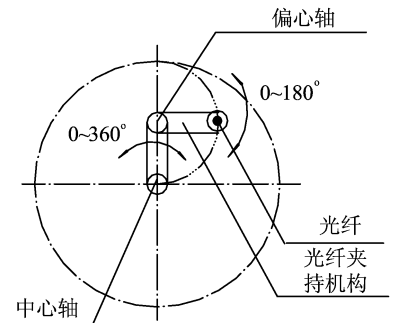


图 1 光纤定位单元示意图

Fig. 1 Sketch map of the fiber positioning unit

* 收稿日期: 2003-12-06

基金项目: 国家“九五”大科学工程资助项目.

作者简介: 彭小波, 男, 1978 年生, 博士生. E-mail: pxb@mail.ustc.edu.cn

1 系统的构造及工作流程

1.1 系统的构造

如图 2 所示,中试系统由五个主要部分组成:控制主机,单元控制器,驱动电路,焦面执行机构,以及测量系统.介绍如下:

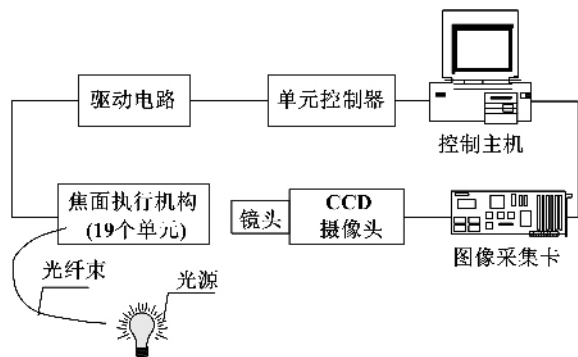


图 2 中试系统结构示意图

Fig. 2 Structure of the medium-term system

发来的指令和数据,产生脉冲,且返回执行信息;

(III) 驱动电路.采用 TDA1521 芯片作为功率放大器件,将单元控制器发出的脉冲进行功率放大,最终驱动定位单元上的步进电机运转;

(IV) 19 个双回转光纤定位单元^[2].各单元包括臂长相等的一中心回转轴和一偏心回转轴.两轴分别由步进电机经过减速装置驱动.19 个单元安装在一个基座上,并进行编号,布置情况如图 3.基座固定在水平导轨上,可沿导轨移动;

(V) 测量系统.包括一个面阵 CCD 摄像头,一块图像采集卡,以及一个变焦镜头,可方便获得不同大小的视场.

1.2 中试系统的工作流程

完成中试系统的构造后,中试系统可实现如下的工作流程:

控制程序对观测数据进行干涉检测、干涉处理以及观测安排,并通过 RS-232 串口将指令和数据发送到单元控制器;单元控制器产生脉冲序列,脉冲经功率放大后驱动安装在 19 个双回转单元上的 38 个步进电机,实现光纤定位.光纤端部经过光学系统在面阵 CCD 上形成光斑,经图像采集卡数字化由计算机处理.我们用光重心法计算各光斑的位置,利用光斑位置表征各光纤的位置,从而通过光斑位置测量确定中试系统 19 个单元的定位精度(各光纤的实测位置与理论位置的距离偏差).

2 中试系统的控制流程

2.1 控制主程序及单元控制器程序

参照光纤定位中试系统的工作流程,我们设计控制软件将中试系统的各个部分紧密连

行机构,以及测量系统.介绍如下:

(I) 控制主机.其功能通过一系列的软件来实现,如 Visual C++ 6.0、Photoshop、Matlab6.0、MedWin 等应用软件,以及自行开发的用以实现电机驱动控制、观测规划、图像采集计算、数据处理等功能的控制程序;

(II) 单元控制器.其作用是产生频率可调的脉冲序列,核心部件是一块 8051 系列的单片机,通过串口通信模块与控制主机进行联系,接收控制主机

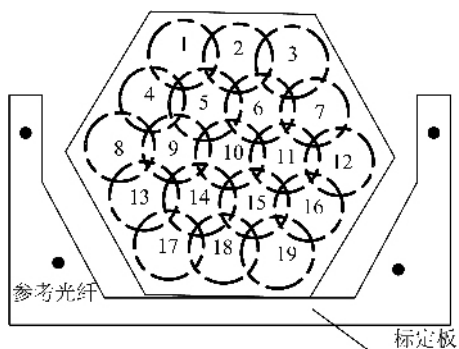


图 3 单元布置示意

Fig. 3 Arrangement of 19 units

接. 根据中试系统的构造情况, 系统的控制软件分成两部分: 一部分是在计算机上实现的控制主程序; 另一部分是在单片机上实现的单元控制器程序.

控制主程序的功能包括观测仿真、干涉处理、数据准备、图像采集、图像计算、数据处理等内容. 在 LAMOST 指挥部没有指定开发工具的情况下, 我们选择功能强大且为主流开发环境之一的 Visual C++ 6.0 开发控制主程序.

单元控制器程序接收控制主程序的数据, 产生脉冲序列, 且返回执行信息. 为了方便程序开发与调试, 我们使用了 Keil C51 编译器加 MedWin 仿真器的开发平台^[3].

控制流程如图 4 所示, 控制主程序和单元控制器程序通过串口通信模块进行联系, 并且我们制订了一套差错检验的串口通信协议. 试验表明, 控制主程序与单元控制器程序之间的串口通信稳定可靠, 保障了试验的顺利进行.

2.2 CCD 图像自动采集和计算程序

在我们先前研制的一套光纤定位单元的调试与测量过程中, 由于 CCD 图像采集和处理的非自动化, 要求人工频繁的干预, 一方面给实验增加了大量繁琐的纯体力工作, 另一方面也引入了由于人为失误(如漏采图像)给实验带来的差错. 因此测量系统自动采集、计算及数据处理过程自动化是非常重要的.

在中试系统中所采用的图像采集卡附带了 BitFlow SDK 软件开发工具, 用户可自行开发自己的 CCD 控制程序. 我们在 Visual C++ 控制程序中调用 API 接口(即 BitFlow SDK 提供的一些接口函数)实现对 CCD 和图像采集卡的主动控制, 包括 CCD 的驱动、图像采集、图像实时显示等控制.

此外, 开发了一个图像计算程序来对采集程序得到的 CCD 图片进行数值计算, 得到各幅图片中各光斑的位置. 由于计算过程中涉及大量的矩阵运算, 选择 MATLAB 承担数值计算工作. 最终用 Visual C++ 编写程序的界面和主框架, 程序中的数值计算部分则用 MATLAB 编写, 用混合编程技术将两部分连接^[4].

最后我们采用 Windows 的消息传递和处理的机理, 辅助以线程阻塞和信号量的概念,

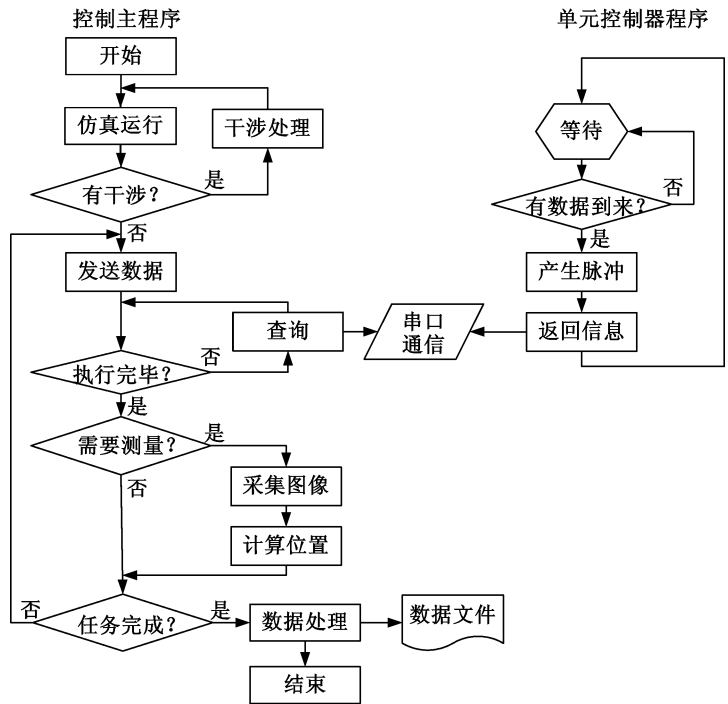


图 4 中试系统的控制流程

Fig. 4 Control flow chart of the medium-term system

将控制主程序中的单元运行、图像采集、图像计算几个过程联系起来^[5]. 参见图 5, 引入了四

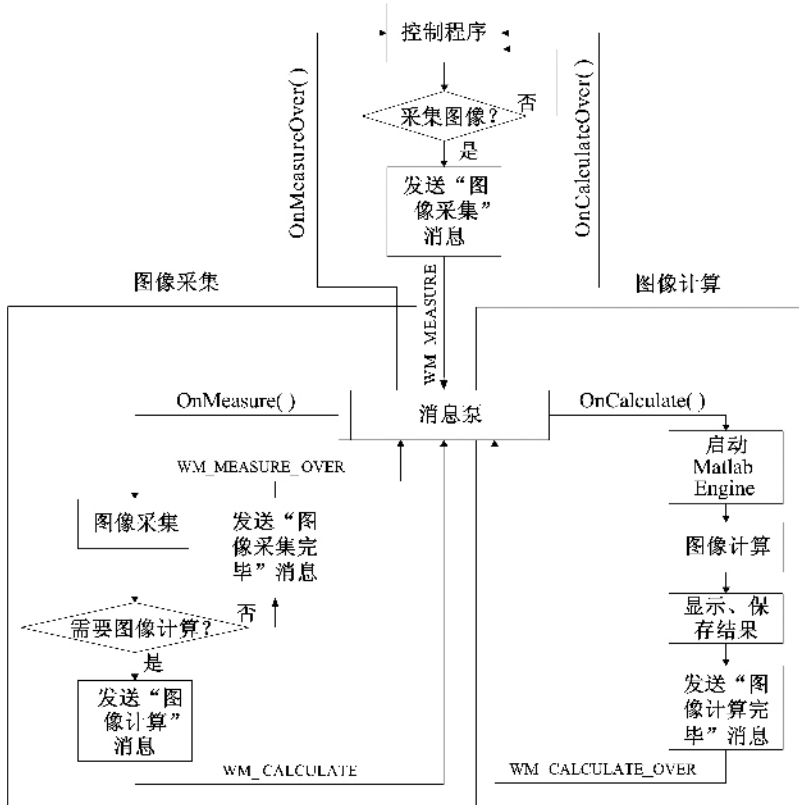


图 5 自动测量和采集实现

Fig. 5 Auto measurement and image acquisition

个消息以及每个消息所对应的消息响应函数, 编写了一个消息处理函数(即消息泵)来将各消息进行传递、处理. 由于采用了多线程技术, 主程序不至于因为某个环节的差错而进入死循环状态, 能及时响应各种其他的控制输入.

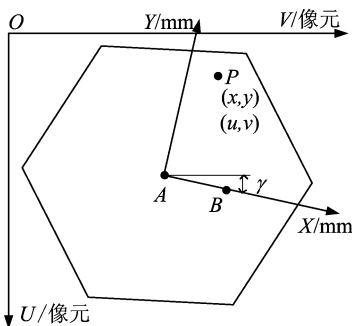


图 6 物像面坐标转换

Fig. 6 Coordinates transfer

3 中试系统的精度测试

3.1 坐标转换

中试系统中存在着两个坐标系, 一个是在光纤端平面上的坐标系, 简称物面坐标系, 另一个是光斑成像在 CCD 靶面上的像面坐标系, 简称像面坐标系.

如图 6 所示, 对于像面坐标系, 以 CCD 左上角的点为原点 O , 行方向为 U 轴, 列方向为 V 轴, 构成了一个像面坐标系 UOV . 而在系统物面上, 选取最中间单元(10 号单元)的中心轴回转中心 A 作为物面坐标的圆心, 与其右边单元(11 号单元)的中心轴回转中心 B 的连线作为物面坐标的 x 轴, 通过圆心且与 x 轴垂直的直线为 y 轴, 这样就构成了一个物面坐标系 XAY .

设 X 轴与 V 轴夹角为 γ (从 X 轴到 V 轴逆时针为正, 单位为弧度), 点 A 在像面坐标系中的坐标为 (u_0, v_0) (单位为像元), 而像面上的 1 像元可折算成物面上的 k mm, 则对于像面坐标系中的一点 $P(u, v)$, 其对应的物面坐标为 $P(x, y)$ 有:

$$\left. \begin{aligned} x &= k((v - v_0) \cos \gamma - (u_0 - u) \sin \gamma) \\ y &= k((v - v_0) \sin \gamma + (u_0 - u) \cos \gamma) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

实测得 $\gamma = 0.0086$, $u_0 = 509.103$, $v_0 = 500.599$, $k = 0.1438$, 建立了从像面到物面的坐标转换关系.

3.2 测试方法及结果分析

根据 LAMOST 光纤定位系统将来实际的工作情况, 即要求光纤定位单元将光纤定位到待观测的星像位置点, 而这些位置点总体来说是些随机的位置点^[6], 因此我们进行随机走点的精度测试实验.

在物面坐标系中, 重复产生随机点, 直到每个单元获得 18 个有效点. 对于某单元内的一个有效位置点, 理论物面坐标为 (x, y) , 可计算得到中心轴和偏心轴转角 (α, β) , 单元运行到位后测得其像面坐标为 (u, v) , 利用关系式(1), 可算得实际物面坐标 (x', y') , 则该单元在此位置点的位置偏差为:

$$\Delta L = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2},$$

则得到每个单元 18 个位置点, 物面上总共 342 个位置点的定位精度. 抽取单元 1 的部分数据如表 1 所示, 而系统中各单元的定位精度统计结果如表 2 所示.

表 1 单元 1 的部分定位精度数据

Tab. 1 Part of positioning precision data of unit 1

理论物面坐标/mm	(中心角, 偏心角)/°	实测物面坐标/mm	位置偏差/ μm
(-26.135, 58.470)	(69.377, 101.320)	(-26.110, 58.472)	25
(-31.658, 53.264)	(87.534, 70.222)	(-31.640, 53.264)	18
(-31.442, 56.206)	(89.976, 90.763)	(-31.475, 56.181)	41
(-25.007, 51.500)	(27.442, 46.177)	(-25.006, 51.517)	17

表 2 所测试的 342 个位置点的统计数据

Tab. 2 Statistics of the positioning precision of 342 points

误差范围/ μm	0~10	10~20	20~30	30~40	>40
点数/个	108	140	57	29	8

从表 2 中可以看出, 在 342 个点中绝大部分点的定位精度小于 $40 \mu\text{m}$ (技术指标要求), 但是还存在 8 个点的定位精度超过 $40 \mu\text{m}$, 占的比例为 2.3%, 而且超差点多集中在 4 号和 19 号单元上, 我们称之为小概率超差现象, 需要在后续工作中作进一步分析.

4 结论

由控制主机、单元控制器、驱动电路、双回转定位单元以及测量系统组成的 LAMOST 光纤定位中间试验系统结构清晰、运行稳定、自动化程度较高. 对系统的定位精度测试表明

系统总体精度满足要求(不超过 $40\ \mu\text{m}$),并通过了专家组的验收.然而试验中出现了小概率超差现象,将在后续的工作中作进一步的研究.

参 考 文 献

- [1] 邢晓正,胡红专,杜华生等.用于 LAMOST 的并行可控式光纤定位系统[J].中国科学技术大学学报,1997,27(4):492-493.
- [2] HU Hong-zhuan, XING Xiao-zheng, ZHAI Chao, *et al.* New type optical fiber positioning unit device for LAMOST [A]. Proceedings of SPIE [C]. Hawaii: SPIE, 2003, 4837:548-555.
- [3] 黄亚楠. LAMOST 光纤定位系统中步进电机控制装置的设计[D].合肥:中国科学技术大学,2002.
- [4] 彭小波,邢晓正,胡红专. Visual C++与 Matlab 混合编程在光斑位置测量中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4):222-223.
- [5] David J. Kruglinski, Scot Wingo, George Shepherd. Visual C++6.0 技术内幕,第五版[M]. 北京希望电子出版社, 2001, 254-272.
- [6] 彭小波,翟超,邢晓正等. LAMOST 光纤定位子系统干涉消除方法的初步研究[J]. 中国科学技术大学学报,2003, 33(1):78-83.

LAMOST Fiber Positioning Medium-Term System and Its Precision Tests

PENG Xiao-bo, ZHAI Chao, HU Hong-zhuan, LI Wei-min, XING Xiao-zheng

(*Department of Precision Machinery and Precision Instrument, USTC, Hefei 230027, China*)

Abstract: A construction of LAMOST fiber positioning medium-term system (including 19 units) and its tests are briefly introduced. This system includes a main control computer, a unit controller, a set of drive circuits, 19 execution units on the focal plane, a CCD camera, a frame grabber, and control programs. Tests on the system indicate that positioning precision of the 19 units is no more than $40\ \mu\text{m}$ on the whole.

Key words: LAMOST; fiber positioning; medium-term system; positioning precision