基于 UMAC的精密伺服控制系统

徐欣圻[1],杨世海[1,2]
(1. 中国科学院 国家天文台南京天文光学技术研究所,江苏 南京 210042;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘 要:介绍基于 UMAC (Universal Motion and Automation Controller)先进技术的精密伺服控制系统,并以我国正在建造的最大光学望远镜焦面控制系统为例,解析了该系统设计方案。方案论证和初步调试展示了 UMAC技术在需要精确、实时、快速、灵活和开放性的大型复杂高要求的控制系统中应用的广阔前景。

关键词: UMAC;控制系统;以太网;实时性,开放性
中图分类号: TP273 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000 - 2162 (2005) 04 - 0041 - 05

UMAC控制器实际上是一个运动控制计算机,以模块化的 PMAC (Programable Multi Axes Controller)系统为核心,在 Motorola DSP基础上开发而成。控制器外型呈框架结构,以 TCP / IP协议连接到网络上,所以可以通过网络进行控制。框架内通常有 4到 18个插卡槽,根据被控对象的实际需要可以选择具有不同功能的插卡 (3U控制卡)进行不同的配置,故配置灵活、方便和具有开放性。由于 DSP芯片及各种插卡的强大功能,基于 UMAC技术的控制器容易满足各种实时性控制的需要。此外,选择合适的插卡,可以对测量元件输入信号进行程度不同的细分,例如在我们的控制系统中对码盘输入脉冲可以进行高达 8192的细分。高分辨率的测量反馈信号对于提高伺服系统的控制精度是很重要的。由美国 Delta Tau公司生产的 UMAC控制器,是目前世界上最先进、功能最强的运动控制器之一。该控制器在国外广泛应用于机器人、数控机床、坐标测量机等各类自动化设备中,但是在中国 (尤其是在天文望远镜控制方面)应用还比较少。图 1是 UMAC控制器的外形图。

正在研制中的大天区面积多目标光纤光谱天文望远镜 LAMOST (Large sky Area Multi - Object fiber Spectroscopic Telescope)是一项国家重大科学工程。望远镜通光口径 4m,地平式机架驱动,投资 2. 35亿元;建成后将成为世界上 4m级口径以上光学望远镜中视场最大和光谱观测效率最高的望远镜。这架望远镜控制系统的性能要求很高,焦面控制系统是其中比较关键的一部分,我们采用了 UMAC技术方案比较好地解决了这个问题。LAMOST望远镜焦面可以粗略地被理解为直径为 1. 75m的一个薄圆柱体。它的控制具有如下几个特点:

(1) 网络控制。整个望远镜的控制、观测、数据采集和处理系统是一个复杂的系统工程,其软件包含有大量的不同层次的模块,此外还有人机接口。这些模块和接口根据一定的规则协调运行。处于焦面控制系统 FPCS (Focal Plane Control System) 上一层的是望远镜控制系统 TCS (Telescope Control System)。TCS以上还有望远镜观测控制系统 OCS (Observatory Control System)等。与 FPCS同层次的则有另外 7个控制望远镜其它部分的系统。处于 FPCS以下的是各种各样的被控电气件、检测仪器和记录仪器,其中不少是智能型的。整个网络具有分布式、层次性、积木式和扩展性。各部分的实时性要求也不一样。图 2显示了整个望远镜的层次结构图,图中可以看出 FPCS所处的位置。有些前文没有提到的模块缩写词的解释列在该图的右上角。

收稿日期: 2005 - 03 - 10
基金项目:国家大科学工程基金资助项目 (0983)
作者简介:徐欣圻 (1944-),男,江苏无锡人,中国科学院研究员,博士生导师.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 焦面运动。在用地平式望远镜观测天体时,为了补偿天体的视运动,除了机架必须作长时间的精密跟踪 (要达到亚角秒的精度,否则就会失之毫厘差之千里)以外,其焦面也要进行精密旋转补偿 (实时控制)。另外,为了改善像质,要求焦面在观测前或甚至在观测中进行姿态控制,即沿焦面法线的微小平移 (在设计中采用精密驱动电机、机械减速和光栅测量组成位置反馈系统来完成)和焦面法线方向角的调整 (根据 3点决定一个平面的原理,用 3组机电减速编码装置协调完成)。

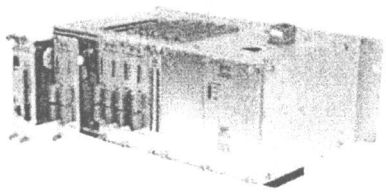

图 1 UMAC 控制器外形图

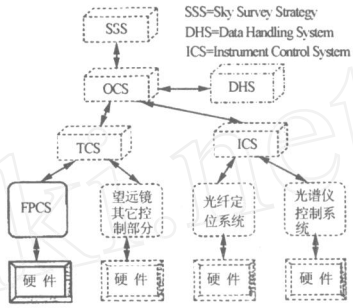

图 2 整个望远镜的层次结构图

(3) 焦面 CCD导星器和手动控制盒。焦面边缘上装有 2～3个 CCD导星器,以提高寻星定位精度和跟踪精度 (亚角秒级)。也可以用于天光背景测量。为了扩大 CCD导星器的搜索范围,导星器安装在 X - Y精密平台上 (微米级)。除此以外,还配有焦面手动控制盒。

(4) 焦面环境参数。地面天文光学望远镜观测时所得到的星像的质量和望远镜周围的环境参数密切相关。这些参数包括温度、湿度和气压等,都需要实时记录和显示。

(5) 焦面房冷却通风和监控。为了提高成像质量,焦面房的冷却通风是必不可少的。而安警监控也是焦面控制系统中一个部分。

综上所述, FPCS是一个要求高又非常复杂的软硬件系统。在设计中我们采用了基于 UMAC技术的控制器可以满足焦面控制系统精确、实时、快速、灵活和开放性的要求。

1 焦面控制系统设计 (运动控制部分)

FPCS以 UMAC运动控制器为核心,构成网络控制系统。上位机采用高档的工控机 IPC (Industrial Personal Computer),而被监控对象则是各种机电实体或电子器件。以焦面运动控制为例,主要涉及的硬件有力矩电机、旋转测角码盘、减速器、直线编码器和手动控制盒等。 IPC通过以太网 TCP/IP协议采用 Socket套接字的方式接收 TCS发来的指令 (也可经 IPC人机界面直接输入键盘或鼠标命令)。这些指令经过一定的解析处理,再通过 UMAC实现各种各样的控制和监测。

1.1 焦面运动控制硬件

通过 UMAC对焦面进行运动控制,主要的驱动和检测元件如表 1所示。

1.2 UMAC控制器

UMAC MACRO采用的是美国 Delta Tau公司的产品,主要由基于 Motorola DSP 56303的 CPU (80MHZ,带 512 ×8闪存)与 DELTA TAU公司开发的用户门阵列 IC组成。它具有如下几个特点。

1.2.1 功能强大 1个 UMAC MACRO最多可以同时控制 8个伺服轴。这样焦面控制系统的 6个电机只要 1个控制器就够了。UMAC MACRO接口采用光纤,可以实现超远距离的实时控制,连线距离可达 3000米 (这一点很重要,因为未来的 LAMOST望远镜要求实现遥控)。同时由于光纤传输的是光信号而不是电流,这就避免了电磁干扰、电容耦合、接地环的问题,提高了系统的抗干扰能力。UMAC提供多种位置伺服算法: 除常规的 PID、速度、加速度前馈外,它还带有陷波滤波器 (NOTCH FILTER)能有效限制设备振动的问题。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　焦面运动控制驱动和监测元件一览表

名　称		型　号	数　量	制造商	备　注
视场旋转	无刷力矩电机	TMA0210 - 070	2	ETEL公司	用于焦面像场旋转补偿,主从驱动。电机与像场旋转比约 16
	旋转测角码盘	ERA881C (带 4个读数头)	1	Heidenhain公司	装在焦面像场轴上,用作测角反馈元件,进行闭环伺服控制
像场倾斜	无刷伺服电机	HJT155D8 - 260	3	SEM Ltd公司	调节旋转视场法线的方向角
	编码器	ECN413	3	Heidenhain公司	同轴安装在 HJT155D8 - 260电机上,用作测角反馈元件,进行闭环伺服控制
调焦	无刷伺服电机	HJT155D8 - 260	1	SEM Ltd公司	调节旋转视场的焦距,改善星像质量
	直线编码器	LF183	1	Heidenhain公司	测量调焦位移,进行闭环伺服控制
	手动控制盒 1		1		自制,用以像场手动控制

1.2.2　结构开放　UMAC几乎向用户开放了所有的资源,所以用户可以方便地进行二次开发。DELTA TAU公司提供了大量的插件板。根据系统的需要,可以选用不同的 CPU板、轴板、I/O板、高精度的位置传感器板、模数转换板等等组合成各种运动控制系统。LAMOST焦面控制系统采用的插件板包括:

(1) ACC - 24E2S:多通道轴板,控制焦面各电机工作;

(2) ACC - 11E:光电隔离的 24入 24出的 I/O板;

(3) ACC - 51E:高精度编码器计数板,接收焦面各部分的编码器位置数据。输入脉冲数可以进行高达 8192倍的细分,从而获得极高的分辨率。

UMAC可以独立工作,但在 LAMOST望远镜的焦面控制系统中,UMAC被用作下位机与上位机协同工作。UMAC支持和主机的多种连接方式:串行方式,包括 RS - 232, RS - 422;并行总线方式,包括 ISA以及 PC104等; USB口和 Ethernet。

1.2.3　保护功能完善,系统可靠性高　UMAC提供了一系列的保护功能,在极大程度上保证了整个系统安全工作。这些功能都可在程序中通过修改 I变量来实现。此外,UMAC还可以对控制系统的故障进行判断和处理;如其"看门狗"功能可以对 UMAC自身的故障做出反应,及时关断 UMAC。

根据 LAMOST的要求,设计了如图 3所示的焦面控制系统。TCS总控系统计算机通过以太网 Ethernet控制驱动系统上位机 Supervisor。Supervisor是一台工控机,它负责中转 TCS的命令给焦面控制系统和其它驱动子系统,同时把这些系统的状态信息反馈给 TCS。Supervisor还有个重要作用是在没有 TCS或 TCS出故障时,可以取代 TCS驱动望远镜。Supervisor和焦面控制计算机之间同样通过以太网通讯,通讯协议是 TCP/IP。焦面控制计算机也是一台工控机。由于焦面监控计算机 Focal Plane与调试现场相距较远,为了方便调试,在 UMAC上可预留接口,可与现场手动控制盒相连,例如可接笔记本电脑执行焦面监控程序。总而言之,在焦面控制系统中采用"IPC + UMAC运动控制器 + 伺服电机"的方法,可靠性高,具有信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制精确等特点。

1.3　软件平台

LAMOST的焦面系统控制软件主要由焦面监控程序和 UMAC的实时控制程序两部分构成。

1.3.1　焦面监控程序　焦面监控程序负责构建整个控制系统的运行平台,它主要由工控机来执行。软件平台的设计原则是既要求软件同硬件一样具有模块化和开放性,又要求软件具有易用性。操作系统:采用 Microsoft公司的 Windows XP。开发系统:采用 Microsoft公司的 Visual C + + 6.0。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

焦面监控程序通过 TCP/IP协议与上位机 Supervisor通信,接收指令、反馈焦面的状态。同时用户也可以通过键盘、鼠标直接与控制界面上的对话框进行数据交换。焦面监控程序将获得的数据进行必要的处理之后,调用 UMAC的有关命令来使 UMAC进行相应的插补运算。本程序采用模块化的结构及面向对象技术。各软件模块都以类的形式封装,可单独开发,单独调试,具有良好的可扩展性、可升级能力和易维护性。

焦面监控软件利用 Winsock技术,采用 32位同步方式、多线程工作,完成 5大任务:通过网络与上位机 Supervisor通讯,接收命令和数据,返回焦面系统各部分工作状态;通过 USB口与 UMAC实时交换数据;对 TCS要追踪的观测目标计算像场旋转的速度并转换为电机的运动速度;观测前对焦面进行调焦和解方程组得到倾斜姿态的调整量;显示焦面系统各部分工作状态及相关数据。

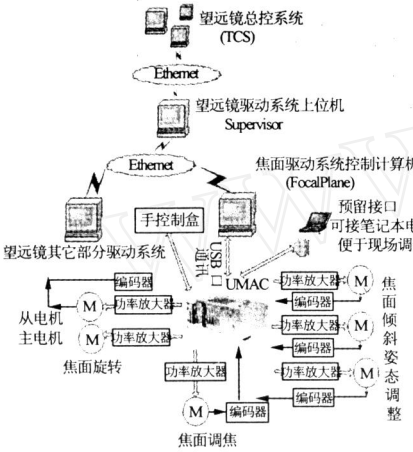

图 3 焦面控制系统

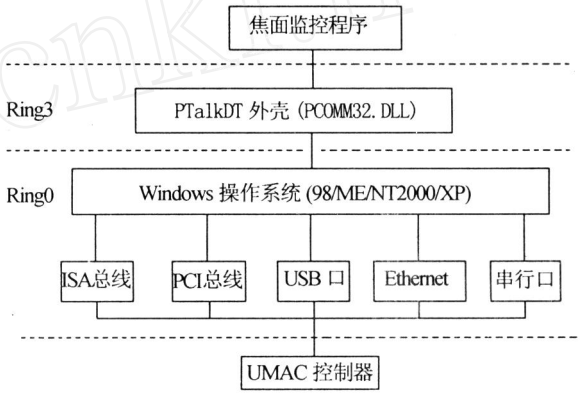

图 4 焦面控制系统与 UMAC 通讯结构图

1.3.2 实时控制软件 实时控制软件主要运行在 UMAC MACRO上,通过 PMAC语言编程来实现。

UMAC自身具有类似于 BASIC形式的 PMAC编程语言,用该语言编程,可使控制卡独立工作。而且 PMAC编程语言还可执行数控机床的程序。UMAC最多允许 256个运动程序和 32个 PLC程序同时运行。

UMAC实时控制软件主要负责各种实时性要求很高的插补和伺服更新、工作过程中的各种检测数据的误差计算和相应的补偿计算;控制各个伺服电动机轴的运动过程和对来自 I/O端口信号的处理等。

UMAC与主机间的通讯程序中有 Delta Tau公司提供的运动控制软件的动态连接库 PCOMM32.DLL,它囊括了同 UMAC进行通讯的所有方式,使用户能方便的在 VB、VC、Dephi、C++Builder下编写自己的软件,控制 UMAC。为了方便编程和升级,我们使用一个 ActiveX控件,叫 PtalkDT,是一个 PCOMM 32的接口,通过把此 ActiveX控件嵌入 VC++6.0开发的焦面控制软件,能够很容易地使主机与 PMAC通讯,实现下达指令或上传状态参数。焦面监控主机与 UMAC通讯结构见图 4。

1.3.3 基于 TCP/IP协议的通讯 由于 LAMOST望远镜的结构,决定了驱动系统是分布式结构,各节点相距很远。采用以太网来解决焦面系统与望远镜其它部分间的通信问题。

应用 TCP/IP协议的以太网最具开放性。它结构简单,成本低廉,便于维护和管理。另外,以太网的标准统一开放 (1EEE802.3系列),技术成熟,有众多厂家支持,几乎所有的编程语言都支持 Ethernet的应用开发。不过需要注意的是,以太网在本质上不具有实时性,不能满足望远镜焦面的控制系统实时性需要。为此,采用 UMAC系统解决其实时性问题,而把实时性要求不高的信息管理部分交由以太网处理。两者各得其所,满足了总体设计要求。

基于 TCP/IP协议的通讯线程,包括接收 Supervisor命令的服务线程和向 Supervisor发回焦面各部分状态信息的客户线程。这两个独立的线程在后台工作。主线程则负责线程间的同步、管理人机界面、接收用户输入、与通讯线程交换数据。采用这种多线程工作的优点是:充分挖掘 CPU的潜在时

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

间;防止由于通讯线程阻塞,导致计算机对键盘、鼠标等用户操作的反应迟钝,从而提高系统的实时性。建立多线程有多种方法,我们采用 MFC类库,使用 AfxBeginThread()函数创建一个 CWinThread类的对象,启动新线程。服务线程 ServerFocalThread接收 Supervisor转发来的命令,而且对命令进行校验,并把校验结果发给 Supervisor。而客户线程 ClientFocalToSupervisor负责转发焦面控制系统的信息。多线程程序有个需要特别注意的地方是线程间的同步。在焦面控制计算机中采用了 Critical Section(临界区),用于保证一个资源一次只能有一个线程访问,不允许对同一个资源的访问超出进程的范畴。比较而言,使用临界区的方式,效率比较高。

2　调试结果

通过仿真模拟,焦面控制命令集已经调通,整个流程也能正常运行。焦面控制中精度要求最高的是视场旋转补偿;要求焦面板带动视场根据天体视运动的规律作变速补偿旋转运动,误差控制在 1个角秒以内。在实践中,采用一对电机驱动,其中一个电机用作主驱动电机,另一个电机用作从驱动电机;分别通过电机伺服驱动放大器、电机同轴码盘、焦面旋转轴测角码盘和 UMAC进行多重闭环。其中最外层的位置环加在主驱动电机上经焦面旋转轴测角码盘闭合。UMAC本身可对码盘脉冲数进行细分。例如电机同轴码盘刻线为 2048条,经过 UMAC 8192细分,电机一圈可以产生 16777216个脉冲,分辨率达 0.077角秒/脉冲。经试验,在所要求的各种视场跟踪旋转速度(0速到 15角秒/秒)范围内对于 1角秒的误差来说完全可以达到。

针对望远镜 LAMOST的焦面控制系统,本设计解决了系统实时性、精确性、可靠性的问题,并且该系统具有模块化、开放性的特点,为以后望远镜的维护、升级提供了极大的便利。

参考文献:

[1] 徐欣圻. LAMOST机架和焦面控制系统技术要求[R]. LAMOST-TR-NAIRC-L5-001, 2003, 9.
[2] 徐欣圻. LAMOST望远镜控制系统[J]. 天体物理学报, 2000.
[3] 李国平. 焦面结构调焦及象场旋转补偿系统和技术要求[R]. LAMOST-TR-NAIRC-L4-002, 2001, 2.
[4] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
[5] Delta Tau Data System Inc. UMAC Quick Reference[M]. 21314 Lassen Street Chatsworth, CA91311, 2003.
[6] Delta Tau Data System Inc. PMAC REFERENCE GUIDE[M]. 21314 Lassen Street Chatsworth, CA91311, 2003.
[7] Delta Tau Data System Inc. PEWIN32 PRO Software Reference Manual[M]. 21314 Lassen Street Chatsworth, CA91311, 2003.

UMAC based servo control system with high accuracy

XU Xin-qi[1], YANG Shi-hai[1,2]

(1. National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking as an example the focal plane control system for the largest optical telescope being built in our country, the paper focuses on UMAC based servo control system with high accuracy, and analyzes its design scheme. The scheme analysis and preliminary test demonstrate a broad outlook of UMAC based application in complex control systems with high precision, real time, fast action, easy adaptation and open architecture.

Key words: UMAC; control system; Ethernet; real time; open architecture

(责任编校:高清维)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net