

# 当代光学天文望远镜控制系统新技术

徐欣圻 徐灵哲 罗秋凤

(中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所 南京 210042)

## 摘 要

对当代光学天文望远镜控制系统技术之进展进行了综述,同时也对这一领域的未来发展作了一些预测,以期给这一领域的控制工程师们提供一个与他们专业需要有关的概貌。

**关键词** 天文观测设备与观测资料 — 天文光学望远镜 — 综述 — 控制系统 — LAMOST

**分类号** P111.2

## 1 引 言

新世纪的序幕已拉开,人类已跨入 4C 时代 (Computer、Communication、Control 和 Cathode-ray tube)。在天文光学望远镜领域中,多台 8 m 级和 10 m 级的天文光学望远镜像雨后春笋般耸立,30 m 光学望远镜的设计已付诸实施,而 50 m 甚至 100 m 的光学望远镜也在酝酿之中。短短的半个世纪,科学和技术都得到了空前的发展。当代天文光学望远镜的控制系统设计思想和实践也发生了革命性的变革。在翻阅了大量有关文献资料,包括网上能查询的资料、相关的学术会议以及和国外同行直接交流得到的信息的基础上,我们整理和概括了 17 个方面的相关新技术或新产品。根据我国的国情,我们也把正在研制的国家大科学工程项目——大天区多目标光纤光谱望远镜 (Large sky Area Multi-Object fiber Spectroscopic Telescope, LAMOST) 控制系统预期达到的水平与国际先进水平进行比较而作一个准确的定位,以期更好地完成这项在发展我国天文仪器、赶超世界先进水平方面具有战略意义的研制任务。

## 2 当代光学天文望远镜控制系统新技术

### 2.1 网络化、分层次、积木式和开放性控制

近 10 年内,几乎所有国际上的大型天文光学望远镜,如美国 8 m 级的 Gemini<sup>[1]</sup> 和欧南台 (ESO) 8 m 级的 VLT (Very Large Telescope)<sup>[2]</sup> 都采用了以 PC 机为运行节点的网络控制。在多数情况下,这种控制分两级。上面一级安装性能较高的工作站,执行高层次的命令,进行

数据处理和提供用户接口;下面一级则采用多个带有微处理器的智能型的 LCU (Local Control Unit) 本地控制单元,以分别控制多个子系统。两级控制的好处是控制结构清晰、将非实时控制部分和实时控制部分分开,有利于高级软件工程师从各种具体的硬件驱动中解放出来,在较高层次软件开发的初期甚至中期进行模拟和仿真;而将那些具体硬件的驱动让给专门人员通过对 LCU 进行编程去解决。各控制节点之间的连接通常采用标准的本地网,例如以太网就是一种可行的选择。几年前以太网的速率只有 10 MHz/s,而如今 100 MHz/s 已很普及了。为了实现远程遥控、机器人望远镜和全球观测,本地网最终还是要接入互联网。通常为了提高主干道上数据的流量和速率,可以采用更快的传输模式。如 FDDI 光纤数据分布网 (Fiber Distributed Data Interface),它适用于跨距为 2 km 的网络;ATM 异步传输模式网 (Asynchronous Transfer Mode),它适用于跨距为 40 km 的网络 (VLT 主干道上采用的就是这种模式)。应该指出,网络控制有利于实现控制系统的积木式和开放性特性。增加一个子系统,从控制角度来看只要多挂一台 PC 机、增加一个控制点和一个 LCU 即可。当然,由于扩展方便,也给系统的冗余提供了更大的可能性,从而提高了控制的可靠性。

我国正在研制的 LAMOST 望远镜与国际接轨,也采用了上述控制方式<sup>[3]</sup>。与我国 1989 年落成的目前国内口径最大的 2.16 m 天文光学望远镜(也用计算机但集成度不高的控制方式)相比<sup>[4]</sup>,LAMOST 采用的通用分布式、网络化、实时性、标准化、开放式和高效率的控制模式相对于前者而言虽有继承性,但更有质的飞跃。

有理由认为,在未来 20 到 30 年内,光学天文望远镜的控制模式仍将保持目前的一些基本特点。当然,网络技术的发展、特别是下一代互联网的问世以及相关软件和网络器件的发展,控制系统的分布式、网络化、实时性、标准化、开放式、高效率和可靠性程度也将会进一步得到改善。

## 2.2 分布式实时操作系统

目前国际上享有盛名的分布式实时操作系统大约有 10 来种,例如 VxWorks、QNX、Lynx、PDOS、Harmony、pSOS、OS-9、VRTX、RTLinux (Real-Time Linux) 等。VxWorks 是当代国际上天文光学望远镜(例如 Gemini)控制系统中用得较多的一种。QNX<sup>[5,6]</sup>主要针对 X86 微处理器(新版本也支持 PowerPC),是微内核结构的先驱,它提供了多任务、优先级驱动占先调度法和快速上下文切换等功能,作分布式应用时采用内部 Fleet 协议完全能满足透明性要求,与其它操作系统交互时可采用 TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 协议。总的来说这种操作系统性价比不错,国外有些天文仪器以及当前我们正在研制的 LAMOST 采用的就是这种分布式实时操作系统。

与一般的操作系统相比,分布式实时操作系统更适合于实时控制,同时又能提供丰富的控制功能,还适用于裁剪开发嵌入式系统。众所周知,地平式的光学天文望远镜需要在两根主轴上同时跟踪天体的变速运动,属于实时控制。采用分布式实时操作系统是操作系统面向控制方面发展的必然结果,也是目前国际上天文光学望远镜控制系统的又一特点。

## 2.3 分布式实时数据库

基于微机性能的极大提高及其价格的不断下降,作为数据库演变史上又一明珠的分布式数据库便应运而生。在涉及到相当数量的实时数据处理的分布式控制系统中,分布式数据库游刃有余,为控制工程师所青睐。实时分布式数据库是当代天文光学望远镜控制的又一特色,

被国际上多架当代大天文望远镜所应用, 它为天文数据在线分析、各种实时数据的历史记录和望远镜控制系统故障诊断提供了强有力的平台工具。LAMOST 望远镜控制系统也采用这项技术, 并已获成功, 这在我国天文望远镜控制系统发展史上也是首次。该项研制已顺利通过了工程指挥部组织的北京、南京和合肥三地专家的评审。

#### 2.4 其它软件平台和工具方面的新技术

当代天文光学望远镜控制系统软件开发上采用了一系列软件平台和工具方面的新技术, 例如 XML、JAVA<sup>[7]</sup> 和面向对象 (Object-Oriented) 设计技术等。其中 XML 提供了一种人类可读、同时机器也能理解的描述结构数据的手段, 比起 HTML 来更具优点; 而 JAVA 则是 Sun System 开发出来的受程序员们青睐的一种优秀语言; 面向对象的设计技术因给程序员们提供功能更强大和友好的可视化设计环境同样也受到欢迎。这些技术与传统的软件开发有明显的不同。传统的天文仪器的命令和控制系统在很大程度上是专用的, 很难维护和扩展。美国 NASA Goddard Flight Center 和 AppNet 公司近年来开发了一种更通用且可扩展、适用于计算机控制的天文仪器软件系统, 它把独立于各种平台的 JAVA 和 XML 语言结合了起来。这些新技术的若干部分已用在 SOFIA (Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy) 项目的 HAWC (High-resolution Airborne Wideband Camera) 照相机上。

此外, LabVIEW 和 RTLinux 的使用是另一个特点。LabVIEW 在测控方面有着极其广泛的应用, 近年来在望远镜控制系统的设计上也不例外。它对于那些在编程方面不很熟悉, 但对望远镜控制流程很清晰的望远镜设计工程师来说可减少编程工作量。而 Linux 则由于其开放性和免费使用, 近年来已经成了微软视窗最有力的竞争对手。RTLinux 系统在天文望远镜控制软件平台上的应用于 2000 年首次在 SPIE (The International Society for Optical Engineering) 会上亮相。4.2 m 级 SOAR (SOuthern Astrophysical Research telescope)<sup>[8]</sup> 光学 / 红外望远镜即是采用 RTLinux 环境下的可视化 LabVIEW 来开发其应用软件的。另外美国 9 m 级的 HET 望远镜 (Hobby-Eberly Telescope) 上的拼镜面主动光学控制 SAMS 系统 (Segment Alignment Maintenance System) 也用 LabVIEW 来开发软件。

值得注意的是, CORBA (Common Object Request Broker Architecture) 公共对象请求代理结构由于可以协调处理不同的软件平台, 给控制系统软件平台的开放、更新和无缝联接提供了更大的可能性。一个应用 CORBA 的例子是西班牙 10 m 级的 GTC (Gran Telescopio CANARIAS) 望远镜<sup>[9]</sup>。

#### 2.5 望远镜控制系统的集成建模

系统的模拟和集成是当代大型天文望远镜开发研制中的重要环节之一。通常, 由于这些望远镜研制周期很长, 在研制的初期和中期各被控硬件不可能一下子到位; 有些精度极高的硬件即使到货, 也必须到现场而无法在实验室内安装。同时, 如何在实验室阶段尽可能预测实际调试中可能出现的各种问题, 以便将风险降低到最低程度, 都是迫切需要解决的问题。

2002 年 2 月, 本文作者之一曾在瑞典参加了首届国际天文望远镜集成建模研讨会 (Workshop on Integrated Modeling of Telescopes), 并向会议提交了有关 LAMOST 控制系统模拟的论文<sup>[10]</sup>。在这次研讨会上专家们提出了针对新一代大天文望远镜研制中集成建模的全新概念。传统的控制系统研制中, 建模仿真等都是分门别类进行的, 采用的方式犹如传水救火 (bucket-brigade); 而新概念中, 借助于当代计算机极大的运算能力、高级仿真软件、适应性

极强的运行环境, 以及对于望远镜控制过程中各种过程的深入了解和知识的积累, 光机电的建模仿真以一种集成的概念进行, 有些甚至涉及到几百个变量、非常复杂的接口和整个谱线段 (从  $\gamma$  射线直到无线电波), 从而对未来望远镜的性能进行非常精确的预测。这种集成建模的过程如图 1<sup>[11]</sup> 所示。由于这种集成建模不需要硬件, 而只是在电脑上进行, 所以非常适合于大型望远镜研制的前期预研。

南京天文光学技术研究所苏定强院士为首的一些学者已经对我国在 LAMOST 以后开展 30 m 的天文光学望远镜的研制有了很好的设想和初步方案; 但是囿于资金, 要真正启动这一项目恐怕还有相当一段时间。为此, 我们建议以集成建模模拟的方式在实验室里先进行前期工作, 以取得方案中光机电主要部件的有关参数。

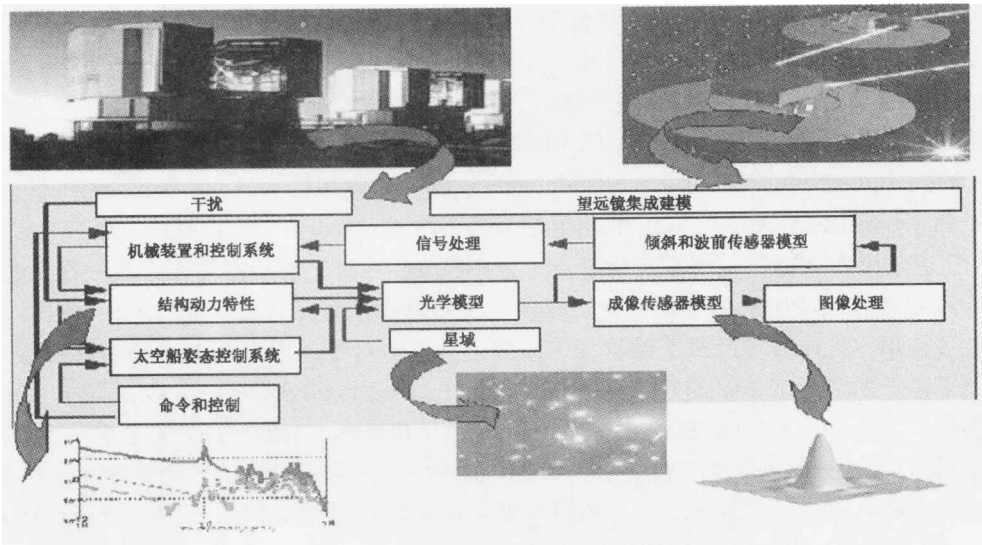


图 1 望远镜集成建模流程<sup>[11]</sup>

## 2.6 主动光学控制新技术<sup>[12]</sup>

天文学已进入全波段频谱阶段。对于这种时代的到来, 地面光学 / 红外望远镜的进展功不可没。但是由于望远镜本身光学系统的限制, 观测星像会产生误差。同时, 天文光学望远镜的口径越来越大的客观需要与目前整块镜子的加工极限 (8 m) 的矛盾也日益突出。所有这些因素都是主动光学新技术的催生剂。而在技术领域, 电子技术 (nm 级的传感器技术和微促动技术、网络控制技术) 的迅猛发展无疑为主动光学新技术的应运而生吹响了嘹亮的前奏曲。

主动光学技术包括以下两种:

(1) 薄镜面主动加力校准技术。通常用一组力促动器顶在主镜的背面, 并以一定规律改变镜子的表面形状, 同时减少重力变形和热变形的影响, 减少像差和提高像质。这种校准的频率通常较低 (例如 0.05 Hz 或更低。LAMOST 是 1.5 min 一次, 而 Gemini 则以每几分钟一次的频率校正 120 个轴向支撑单元。校准时需要的误差信号通常借助于对输入光线的波前进行检测来得到)。应该指出, 由于采用了薄镜面, 整个镜子的重量可以减轻, 这对于提高机架谐振频率、改善伺服特性有好处。

(2) 拼镜面主动光学技术。即将整块镜子分成若干块, 大大降低造价, 同时使各块子镜的焦点以极高的精度会聚在一点。为了达到上述要求, 在硬件上通常采用分辨率和精度极高的位移传感器 (例如美国 HET 望远镜采用了美国 Blue Line 公司的电感位移传感器, 其分辨率在取样频率为 280 Hz 时达到 RMS 为 20 nm) 和 Shack-Hartmann 技术。

世界上第一个采用力主动校准的望远镜是 ESO 的 3.5 m NTT 望远镜 (New Technology Telescope), 它 1989 年投入运行。第一个采用拼镜面主动光学技术的是 10 m 级的 Keck<sup>[13]</sup> 望远镜主镜, 它由 36 块子镜拼成, 于 1992 年投入运行。值得一提的是, 我国正在研制的 LAMOST 的改正镜同时采用上述两种主动光学技术进行控制, 这在世界天文光学望远镜的控制系统发展史上是前所未有的。更应该注意的是, 根据总体要求, LAMOST 在同一块改正镜上还要进行亚角秒级精度的方位和高度两个轴的驱动。所有这些高精度的控制集中在同一块镜子上无疑给 LAMOST 控制工程师提出了世界级的难题。

可以预料, 主动光学控制技术方兴未艾, 在未来的大口径地基光学天文望远镜及空间光学望远镜上将会被广泛应用。根据我们的了解, 美国 NOAO 天文台 (National Optical Astronomy Observatories) 正在预研的 30 m 下一代地基天文光学望远镜, 也如同 LAMOST 一样将同时采用这两种主动光学控制技术。

## 2.7 自适应光学控制新技术<sup>[12]</sup>

对于天文光学望远镜, 有两个方面是很重要的。一个是集光能力, 这取决于望远镜的口径; 另一个则是大气扰动对地基光学望远镜成像的影响。大气扰动使得无穷远处射来的平面光波前产生相位差, 甚至使一个理想光学望远镜无法达到一个仅由衍射极限决定的聚焦的球面波前, 形成空间和时间波前干扰 (Hubble 空间望远镜置于空中的一个重要因素就是为了消除大气湍流的影响)。

自适应光学技术是在这种背景下发展起来的。它通常需要变形镜、一组压电促动器、一组波前传感器子孔径和 Shack-Hartmann 装置等进行伺服闭环 (与标准光源像进行比较) 校准。校准频率比主动光学校准频率要高得多, 甚至可以达到 1 kHz, 否则由于大气扰动变化更快而使校准失效。自适应光学控制技术同样也建筑在当代先进的电子技术、检测技术和计算机技术基础上。目前, 这种技术已用于一系列 4 m 或 4 m 以上的光学望远镜上。例如 ADONIS (ADaptive Optics Near Infrared System), 它是第一个通用自适应光学系统, 已成功地装在 ESO-La Silla 3.6 m 望远镜上 (1993 年 4 月正式投入使用)。

## 2.8 光干涉

光干涉的理论和实践可以追溯到 100 多年前, 但只有在上世纪 80 年代后, 现代高科技成果, 诸如光平行性精密测控、高精度光程差补偿、条纹探测、跟踪和检测、微位移驱动和传感器技术、计算机技术、信息和图像处理技术等充分发展, 才导致天文光干涉和光学综合口径成像自 1986 年以来获得了一系列的重要成果。多个光干涉系统已投入观测并产生了一系列天文科学成果, 如 GI2T (Grand Interféromètre à 2 Télescopes)、COAST (Cambridge Optical Aperture Synthesis Telescope)、IOTA (Infrared-Optical Telescope Array)、NPOI (Navy Prototype Optical Interferometer)、PTI (Palomar Testbed Interferometer)、ISI (Infrared Spatial Interferometer)、SUSI (Sydney University Stellar Interferometer)、MIRA (Mitaka optical and Infra-Red interferometer Array) 等。另一些光干涉系统正在发展中, 如 CHARA (the

Center for High Angular Resolution Astronomy array)、MRO (Magdalena Ridge Observatory interferometer)、LBT (Large Binocular Telescope); 特别是两架 Keck 望远镜、4 架 VLT 都配有一些较小的望远镜组成巨大的干涉阵, 前者最长基线为 140 m, 后者为 200 m。两架 Keck 望远镜在 2001 年 3 月 12 日第一次作为干涉仪得到了 HD 61294<sup>[14]</sup> 星的干涉条纹。它的下一步计划则是增加几个 2 m 望远镜 (如图 2 所示), 与这两个 10 m 望远镜共同组成一个历史上迄今最大的光学干涉仪阵。预计这样的干涉阵可以得到太阳系附近其他恒星的体积像木星那样大小的行星的图像。

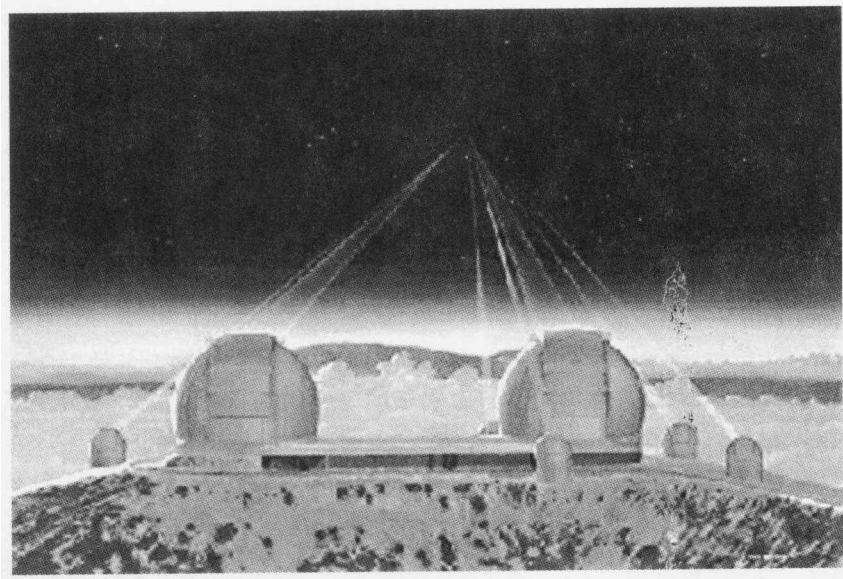


图 2 Keck 望远镜干涉阵<sup>[21]</sup>

## 2.9 GPS (Global Position System) 全球定位系统

GPS 是美国在 1993 年建成的新一代卫星导航、定位和授时系统。它由分布在 6 条轨道上、距地面大约 20 km 的 24 颗卫星组成, 能覆盖全球, 全天候工作, 连续实时地向地面用户提供高精度位置、速度和时间信息。GPS 由于其精度高和使用方便, 已广泛地应用在当代天文望远镜控制系统的定时上。我国在这方面也已与国际接轨, 近几年有多台望远镜 (包括 LAMOST) 采用这一新技术。

在可以遇见的未来, GPS 仍将是天文望远镜控制系统定标的主要手段。值得考虑的是, 目前 GPS 最终还是受美国军方控制。为此, 世界上一些集团和国家, 如欧盟和日本, 还有我国都表示了有建立不受美国控制的 GPS 导航系统的兴趣。2002 年 12 月 23 日国家天文台艾国祥台长在北京主持召开了中国天文定位系统 (CAPS) 研讨会, 正式启动利用中国天文界的智慧和力量建立 GPS 系统的预研。

## 2.10 码盘测角系统

当代光学天文望远镜的跟踪精度已进入亚角秒级, 有的已达到 10~20 mas, 因此相应的码盘分辨率要求更高。通常这种码盘直接装两根主轴上, 以尽量减少传动链引入的测量误

差。为了提高码盘的刻线精度, 要求加大码盘的直径, 从而产生了带式码盘。这种码盘大都配备有电子细分器, 大大提高了分辨率。例如 8 m 级的 Gemini 望远镜就采用带式码盘<sup>[15]</sup>。

德国 HEIDENHAIN 公司是世界上最有名望的码盘生产公司之一。目前 LAMOST 方位和高度轴上打算用的码盘是我们迄今为止所能得到的该公司产品样本中精度最高的码盘, 具体参数如下: 型号 ERA 780C<sup>[16]</sup>, 90000 条刻线, 直径超过 1 m。若用 8 个读出头不带其它校正, 这种码盘的精度可达 0.37"; 若用测星来校正, 仍用 8 个读出头, 则精度可以达到 0.08"。用码盘装在主轴上直接测量机架转角, 是当前天文望远镜机架跟踪检测的主流模式。在这种模式下, 用码盘测角读数作反馈形成小闭环, 另一方面经过光电导星形成大闭环。

### 2.11 驱动方式 (摩擦驱动 / 直接驱动)

传统的天文望远镜的主轴驱动通常采用电机, 然后通过齿轮减速以提高驱动分辨率, 减少折算到电机上的转动惯量和负载转矩。近来, 由于新型电机的涌现、电机性能的改良, 以及客观上驱动精度要求的提高, 传动链越来越短, 其结果便是摩擦驱动或直接驱动。

在摩擦驱动模式下, 减速比大约只有几十。而直接驱动, 电机直接装在轴上, 不变速, 减速比为 1。当代地基光学天文望远镜大多采用摩擦驱动 (例如 Gemini), 也有采用直接驱动的 (例如 VLT)。由于去掉了齿轮传动链, 这就消除了齿轮传动中的反向间隙和高频齿形误差对驱动的影响。摩擦驱动和直接驱动所要求的电机相对来说力矩要大, 驱动时特别是在低速驱动下要求平稳。与传统驱动相比, 这两种驱动可以得到更快的动态响应。正在研制中的 LAMOST 的两轴将采用摩擦驱动, 这是与国际接轨而不同于 2.16 m 望远镜的又一方面。

驱动伺服中所要用到的控制器 (单轴或多轴) 目前有多种商用产品。通常这些控制器都带有内层电流反馈, 并提供模拟信号测速反馈接口。位置反馈则借助于码盘及其数据采集卡闭环, 采用 PID (Proportional-Integral-Derivative) 算法、模糊算法、神经网络算法或其它当代先进控制算法给控制器输入偏差信号进行调节。

### 2.12 拼镜面共焦控制用位移传感器

位移传感器是拼镜面主动光学共焦控制中的关键电子元件。表 1 是我们调研的结果, 它概括了 3 种位移传感器的性能, 以飨读者。世界上首次成功应用这项技术的天文光学望远镜

表 1 共焦用位移传感器性价比较表<sup>[17,22]</sup>

	Keck 电容式	Blue Line 电感式	CSP 光电式
测量范围	超过 24 $\mu\text{m}$	$\pm 300 \mu\text{m}$	130 $\mu\text{m}$ ~2 mm
分辨率	AD 转换最小位当量为 2.9 nm	RMS 值为 20 nm (取样频率为 280 Hz)	$\pm 4 \text{ nm}$
精度			$\pm 20 \text{ nm}$
带宽	80 Hz	285 Hz	标准 500 Hz, 可以做到 5 kHz
热影响	3 nm/ $^{\circ}\text{C}$	<20 nm/ $^{\circ}\text{C}$ (测量时剪切为 100 nm, 没有用另外的补偿)	用温度参考臂补偿可 <1 nm/ $^{\circ}\text{C}$
稳定性	3 nm/ 星期	<RMS 值为 25 nm (24 h 以内)	
是否在以往的共焦控制中成功过	是, 例如在 Keck 望远镜上	用在 HET 望远镜的 SAMS (共焦维持系统) 中, 目前仍在深入研制	在其它工业控制中成功地用过, 但没有在共焦控制中尝试过
价格	最贵	比较便宜	最便宜

是美国的 Keck 望远镜, 它的伺服反馈传感器采用的是电容式的。电容式传感器的缺点是体积和重量大, 其参数容易受环境的影响。除了电容式的外, 还有电感式的和光电式的位移传感器。其中, 电感式传感器已成功应用在美国 9 m 级的 HET 光学望远镜上。HET 采用的是美国 Blue Line 公司<sup>[17]</sup> 的传感器。2001 年 12 月 LAMOST 电控组曾去美国作过这方面的专题调研。至于光电式的位移传感器在天文望远镜上的应用目前还处于研制阶段, 但它也是一种很有前途的传感器。我们曾和法国 CSP (Components and Systems of Precision) 公司就该公司希望将其光电传感器用到 LAMOST 拼镜面共焦上进行过大量的磋商, 并制定了合作协议。

### 2.13 DSP (Digital Signal Processing) 数字信号处理器

DSP 数字信号处理器是涉及多种新兴学科的器件产物, 是未来集成电路中发展最快的电子产品之一。2000 年 SPIE 会议上就报道了 Wilson 山上 2.54 m Hooker 望远镜利用 DSP 阵列对波前检测传感器像素进行高速处理的实例<sup>[18]</sup>。上世纪 90 年代是 DSP 发展最快的年代, 目前 DSP 已发展到第 4 代和第 5 代。与一般采用冯·诺依曼结构程序和数据存储空间合二为一的通用微处理器相比, DSP 采用的是哈佛结构, 它将程序和数据存储空间分开, 并采取一切措施提高数字信号处理的速度, 如对 FFT (Fast Fourier Transform) 专门优化等。针对不同的用途, DSP 有专用的不同产品。预计在未来 10 年里, DSP 将会进一步大量替代 MPU 微处理器, 用于天文望远镜控制系统的 LCU 中。

### 2.14 机器人望远镜

英国 Liverpool 2 m 级望远镜将成为目前世界上最大的机器人望远镜, 其研制任务主要由英国的 TTL (Telescope Technologies Ltd) 公司承担。预计 2003 年春天在 La Palma 将首次得到观测星像。

机器人望远镜是自动化技术、计算机技术和网络技术综合应用在天文望远镜上的又一精品。它既不需要本地操作员, 也不需要遥控操作员, 所有的过程都是自动完成的。由此可见, 这种控制方式非常适合全球性的网络天文实时观测和天文科普教育。总的说来, 这种望远镜有如下特点: 对可能的观测目标作出快速反应和进行长期监测; 对观测要求和实际存在的观测条件进行合理配对从而实现最佳调度; 机器人化代替雇员可以节约开支等。为了达到机器人化, 需要高级软件系统来替代人的工作, 包括望远镜的启动、关闭、调焦以及对故障的诊断和处理等。

除了英国 Liverpool 2 m 级望远镜外, 世界上还有一些小型的机器人望远镜, 更大口径的机器人天文光学望远镜的问世也不会是很遥远的事。

### 2.15 光纤技术

光纤通信传输也是上世纪高科技成果之一, 随之而来的光电转换器件和接口等目前已有不少的商用产品, 在天文望远镜的控制中也发挥着重要的作用。例如在望远镜的网络控制中, FDDI 就是一种可靠的、高速的 (100 MB/s) 传输方式, 它可以在单个网络上支持 500 个工作站, 网络跨距可达 2 km。另外一个突出的光纤应用例子是用光纤来接收天体的星光。典型的应用就是天文光学巡天望远镜中用一组光纤同时一一对应接收一组天体星像。目前在这方面的世界记录是美国 Apache Point 天文台的 2.5 m SDSS 巡天望远镜 (Sloan Digital Sky Survey), 它共有 640 根光纤, 能同时将焦面上的 640 颗星的信号传输到一组光谱仪上。其中一个关键性的技术就是如何将每一根光纤准确地对准每一颗目标星, 当然这涉及到高精度微位移。



正在研制中的 LAMOST 望远镜兼备大口径和大视场的特点, 它将把同时接收天体星像的数量提高到 4000, 从而创造令人振奋的世界记录。针对 LAMOST 光纤定位系统, 目前国内有 3 个单位正在进行预研。其中一种方案是用 8000 个步进电机, 每 2 个电机驱动一根光纤的平行控制方式(为了减少驱动器数量和发热, 在总定位时间允许范围内也可能采用串并方式)。

### 2.16 CCD 探测器

当前 CCD 的量子效率 QE, 蓝片已达 70%~80%, 红片已达 90%, 投入使用的最大拼接 CCD 为 12 K×8 K<sup>[19]</sup>。例如在 CFHT(加拿大-法国-夏威夷望远镜)上就装备了这种拼接 CCD 的先进照相机, 以搜索天王星所有可能的卫星。另外有好几个 8 K×8 K 的 CCD 也已用在望远镜上, 同时 20 K×18 K 的拼接 CCD 正在研制中。红外波段 HgCdTe 1 K×1 K 的 CCD 已投入工作, 2 K×2 K 的正在研制中。另外, 目前 NASA/JPL(National Aeronautics and Space Administration/Jet Propulsion Laboratory)还开发了一种称为 APS(Active Pixel Sensor)的新型 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)成像器, 它具有一系列优点, 预计在天文仪器领域会有很好的前景。

### 2.17 其它电子器件

由于半导体集成规模的大幅度增加和电子技术的高速发展, 天文望远镜控制系统中常用的一些控制元器件也进入了一个新的时代, 各式各样的特种电机(能在严酷的工业环境中运行并带有可靠的旋转变压器反馈或编码器反馈、大转矩、微步驱动、高调速比功能, 同时配有相应的伺服放大器), 包括直线电机、多轴驱动器、传感器、逻辑编程器、接插件和网络产品等等都是一些具体的例子。

在为 LAMOST 电控调研过程中, 我们了解到美国伺服厂商科尔摩根工业驱动公司<sup>[20]</sup>可提供一个系列的 DDR(Direct Drive Rotary)直接驱动力矩电机, 其连续输出转矩范围为 5.8~136 Nm, 分辨率可达每圈 1048576 脉冲。该公司同时提供 DDL(Direct Drive Linear)直接驱动直线电机, 其连续力输出为 38~1767 N, 加速度从 3~10 g, 定位精度仅受反馈分辨率限制, 长度可拼接所以不受限制。伺服之星 CD 系列数字放大器也是这家公司的产品, 其特点是全数字处理、自调整多种数字控制环选择, 如 PI(Proportional-Integral)、PDFF(Pseudo-Derivative-Feed-Forward)、极点配置和专利转矩角控制技术等。

## 3 结论和展望

当代天文光学望远镜的控制系统设计思想发生了革命性的变革, 控制系统的总体水平达到了前所未有的程度。网络化、集成化、标准化、开放性、高精度、高效率、高可靠性是当代天文光学望远镜控制系统发展的总趋势, 在可以预见的未来这种趋势将会进一步加强。目前在业余科普小型望远镜的控制和数据采集上已有系列化和商用化的软硬件产品。随着全球经济的发展、第二代互联网的来临、天文领域数据的共享和合作, 天文光学望远镜控制系统将会进一步趋于标准化, 以致推动一系列面向大型光学望远镜的商用软硬件产品的涌现。例如, 当代光学大天文望远镜几乎清一色地采用地平式机架, 驱动模式几乎都采用摩擦乃至将来会更多采用直接驱动。按被驱动转动惯量、负载转矩和驱动要求, 完全可以由专门的公司提供一个系列的商用驱动系统软硬件供用户选择。另外, 各架大型天文光学望远镜的用户界面尽管五

花八门,但都有共同点,也可以趋于标准化,只要同时提供用户接口以使用户适当裁剪和更改即可。这些都是我们对未来 10 到 20 年之间天文光学望远镜控制系统发展趋势的某些预测。

LAMOST 望远镜的控制系统所要满足的要求可以与当代国际上任何一架先进光学天文望远镜相媲美,在某些方面甚至是独一无二的,它是我国天文仪器专家的骄傲。目前这架望远镜的研制正处于关键阶段。路漫漫,其修远兮,吾将上下而求索。

### 参 考 文 献

- 1 Maclean J F. In: Lewis H ed. *Advanced Telescope and Instrumentation Control Software*, Munich: SPIE, 2000: 276
- 2 Chiozzi G, Wirenstrand K, Ravensbergen M et al. In: Lewis H ed. *Telescope Control Systems*, California: SPIE, 1997: 141
- 3 徐欣圻. *天体物理学报*, 2000, 20(增刊): 43
- 4 苏定强,潘君骅,洪斯溢等编. *2.16 米天文望远镜工程文集*,北京:中国科学技术出版社,2001: 204
- 5 徐欣圻. *天文仪器与技术*, 1999, 1: 71
- 6 Kolnick F. *QNX 4 Real-time Operating System*, Canada: Basis Computer Systems, 1998: 27
- 7 Ames T, Koons L, Sall K et al. In: Lewis H ed. *Advanced Telescope and Instrumentation Control Software*, Munich: SPIE, 2000: 2
- 8 Daly P N, Claver C F. In: Lewis H ed. *Advanced Telescope and Instrumentation Control Software*, Munich: SPIE, 2000: 71
- 9 Penataro R, Filgueira J, Cambronero P et al. In: Lewis H ed. *Advanced Telescope and Instrumentation Control Software*, Munich: SPIE, 2000: 152
- 10 Xu X Q, Zhou J, Xu L Z. In: Andersen T ed. *Integrated Modeling of Telescopes*, Lund: SPIE, 2002: 145
- 11 <http://www.astro.lu.se/~torben/workshop>, 2002
- 12 <http://www.eso.org/projects/aot/introduction.html>, 2000
- 13 Cohen R, Mast T, Nelson J. In: Stepp L M ed. *Advanced Technology Optical Telescopes*, Hawaii: SPIE, 1994: 105
- 14 <http://www2.keck.hawaii.edu:3636/realpublic/1stLight/1stLight.html>, 2001
- 15 Wilkes J, Fisher M. In: Lewis H ed. *Telescope Control Systems*, California: SPIE, 1997: 30
- 16 <http://www.heidenhain.de>, 2000
- 17 Ames G. *Figure Maintenance of Segmented Primary Mirror*, Atacama: Blue Line Engineering, 2000: 1
- 18 Schneider T G. In: Lewis H ed. *Advanced Telescope and Instrumentation Control Software*, Munich: SPIE, 2000: 421
- 19 苏定强,崔向群. *天文学进展*, 2001, 19: 121
- 20 美国科尔摩根 (Kollmorgen) 工业驱动公司产品信息, 网址: <http://www.kollmorgen.com>, 2001
- 21 [http://www.astro.caltech.edu/mirror/keck/gen\\_info/kiosk/#Future](http://www.astro.caltech.edu/mirror/keck/gen_info/kiosk/#Future), 1998
- 22 Mast T, Nelson J. In: Dierickx P ed. *Optical Design, Materials, Fabrication, and Maintenance*, Munich: SPIE, 2000: 226

## Novel Control Technologies for Optical Astronomical Telescopes of Contemporary Era

Xu Xinqi   Xu Lingzhe   Luo Qiufeng

*(National Astronomical Observatories/Nanjing Institute of Astronomical Optics & Technology, Chinese Academy  
of Sciences, Nanjing 210042)*

### Abstract

This paper gives a summary on the progress of advanced control technique for contemporary astronomical optical telescopes. Some further evolution in this growing fast field foreseen is presented. The paper provides the control engineers in this field with an overview that concerns their professional needs as well.

**Key words**   astronomical facilities and observational data—astronomical optics telescope—  
review—control system—LAMOST