

DOI: 10.13875/j.issn.1674-0637.2019-03-0233-07

基于多站数字天顶筒的 UT1 测量系统

李琳^{1,2,3}, 高玉平^{1,2,3}, 蔡宏兵^{1,2}, 王平利^{1,2},

李变^{1,2}, 刘娜^{1,2}, 朱鸿旭^{1,2,3}

1. 中国科学院 国家授时中心, 西安 710600;
2. 中国科学院 时间频率基准重点实验室, 西安 710600;
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 针对现阶段世界时实时性要求越来越高的问题, 结合天顶筒的观测特点, 初步设计并建立了以丽江、德令哈、洛南为 3 个观测站点, 和以临潼为数据处理中心的数字天顶筒远程观测系统。与传统的光学 UT1 测量系统相比, 该观测系统具有无人值守、远程控制、自动观测、在线处理和数据实时传输的特点, 能够满足我国世界时的测量需求。

关键词: 世界时; 天顶筒; 观测系统

UT1 measurement system based on multi-station digital zenith tube

LI Lin^{1,2,3}, GAO Yu-ping^{1,2,3}, CAI Hong-bing^{1,2}, WANG Ping-li^{1,2},

LI Bian^{1,2}, LIU Na^{1,2}, ZHU Hong-xu^{1,2,3}

- (1. National Time Service Center, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
2. Key Laboratory of Time and Frequency Primary Standards, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710600, China;
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to satisfy the increasing needs of the Universal Time of self-measurement, a digital zenith telescope Universal Time observation system, with Lijiang, Delingha and Luonan stations and Lintong data processing center, was designed and established. Compared with the traditional optical UT1 measurement system, the digital system has the characteristics of unattended, remote control, automatic observation, online processing and real-time data transmission, which can meet China's measurement requirements of the Universal Time.

Key words: Universal Time; zenith tube; observation system

0 引言

世界时 (UT1) 是以地球自转运动为参考的时间计量系统, 对于一切需要在国际地球参考系和国际天球参考系之间建立关系的问题^[1], 以及协调世界时 (UTC) 产生, 是不可缺少的。目前我国在 UT1 测

收稿日期: 2019-01-22; 接受日期: 2019-03-23

基金项目: 国家自然科学基金“精密测量物理”重大研究计划资助项目 (91736207)

作者简介: 李琳, 男, 硕士, 主要从事世界时测量方法研究。

量方面过度依赖于国际地球自转与参考系服务 (IERS), 没有自主的 UT1 测量与服务系统^[2]。但随着我国现代空间导航和深空探测领域的快速发展, 对 UT1 的实时监测提出了越来越高的要求, 很多情况下甚至需要实时或准实时的 UT1, 这是国际服务不能完全保障的。为满足我国 UT1 自主测量的需求, 有必要建设我国自主的 UT1 测量与服务系统。

2017 年中国科学院国家授时中心利用数字天顶筒初步建立了 UT1 自主观测系统。鉴于光学望远镜对观测环境要求较高, 观测地应尽量远离光污染严重的市区, 派专人值守成本较高, 特此设计了具有无人值守、远程控制、自动观测、在线处理和数据实时传输功能的远程观测系统。该系统采用了现代通讯和网络控制技术, 与传统光学天文观测相比, 避免了人为误差, 提高了观测效率。

1 天顶筒测量 UT1 原理

天顶筒作为一种光学望远镜, 有其独特的工作模式。要利用天顶筒进行世界时测量, 需要了解它的观测原理。在综合考虑天顶筒观测特点、世界时观测需求的基础上, 为保证观测的稳定高效, 提出搭建多台站控制网络的目标。

1.1 UT1 测量原理

世界时, 又叫格林尼治平太阳时^[3]。它作为全球通用民用时系统的基础, 以地球自转为参考。但由于地球自转速率受到潮汐、洋流、大气等的影响^[4], 使其变化速率不均匀, 无法通过模型进行长期高精度的预报, 只能由观测获得的恒星时解算而来^[5-6]。如下式 (1) 为世界时与恒星时的关系:

$$UT1 = (\overline{S_L} - \overline{S_0} - \lambda)K, \quad (1)$$

式(1)中, $\overline{S_L}$ 为测量得到的地方平恒星时, $\overline{S_0}$ 为 UT1 0 时的格林尼治平恒星时, λ 为瞬时经度, $K = 0.997\ 269\ 566\ 416$ ^[7]。

1.2 天顶筒测量原理和特点

天顶筒观测的是所在地天顶方向上的恒星, 该方向在国际天球参考系 (ICRS) 下以赤道坐标 (α_0, δ_0) 表示, 同时, 它在国际地球参考系 (ITRS) 下以天文经纬度 (A_0, ϕ_0) 表示。这两者可通过测量地球自转角得到的格林尼治恒星时 GAST 进行相互转换, 如式 (2):

$$\begin{cases} \delta_0 = \phi_0 \\ \alpha_0 = A_0 + \text{GAST} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, (α_0, δ_0) 为赤道坐标, (A_0, ϕ_0) 为天文经纬度, GAST 为格林尼治恒星时^[8]。由等式可知, 若已知当地的赤道坐标, 结合天顶筒观测数据解算出的天文经纬度, 可得到格林尼治恒星时, 从而换算得到世界时。

数字天顶筒是在经典天顶筒基础上改进而来的, 主要由镜筒、水平仪、CCD 相机组成。相比于经典天顶筒望远镜, 它将原本的水银盘面改进为平面反射镜, 减小了定期清洗更换水银的环境污染和对人体的损伤。将原本的底片式相机改进为 CCD 相机, 消除了人差的影响, 且 CCD 成像不同于传统的目视测量, 它利用图像识别技术, 同时可观测到多颗星, 极大提高了观测效率与观测质量^[9-10]。

数字天顶筒只观测天顶位置附近天区, 大气折射的影响可以忽略, 并采用以 0° 和 180° 交替转身曝光的观测模式, 消除了准直差的影响。它作为一种光学望远镜, 也遵循一般光学设备的观测流程。这类设备对天气、周围背景环境等要求较高, 且对世界时的需求, 必须以长期的日常科学观测为基础。人工

观测就会带来很多局限性，比如观测成本高、对外站的后勤保障有一定要求等。因此，考虑以远程控制的方式达到该观测目的。

然而，现今的光学望远镜远程观测主要以单台站居多，这些观测系统一般都是半自动化的，需要人工值守、手动设备加电等，且观测的数据图像通常会下载到观测者本地再进行处理。此外，光学望远镜设备进行观测时，都需要提前散热、天气监测等操作，这对现今大多数的单台站光学望远镜难度不大，但对组网的天顶筒观测系统就变得十分困难。观测任务会随着观测台站的增多急剧增长，观测图像本地回传的网络压力也使其变得无法实现。且对于天顶筒观测系统，后期会有扩展站点的需求。因此，设计并建立一套可供扩展、自动化程度高的观测系统，就显得十分必要。

2 天顶筒测量系统

为了使观测站点选取尽量避免时间和空间的束缚，需将整个观测系统设计为计算机网络实时连接的远程控制方式。考虑到光学望远镜的观测特点，以及天顶筒观测站点的特殊性，整个系统主要可分为三大部分：观测子系统、控制子系统及传输与处理子系统^[1]。各部分关系如图 1 所示。控制子系统通过计算机网络对观测过程和观测结果进行实时监测；观测子系统进行天顶筒的拍照观测；传输与处理子系统则利用控制系统的网络将数据进行传输汇集，以便于数据的解算与分析。

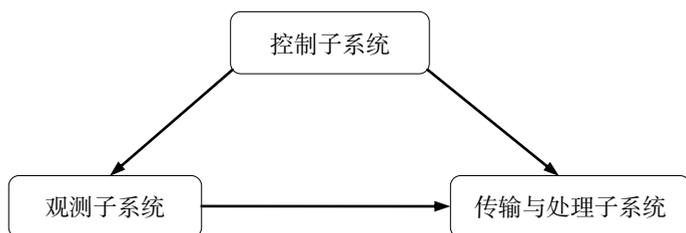


图 1 观测系统组成框图

2.1 观测子系统

观测子系统主要由天顶筒望远镜、观测圆顶及工控机组成，如图 2 所示。其中，天顶筒望远镜对天体进行拍照观测，并将观测结果实时输出到工控机端；工控机起到暂时存储观测图像数据的作用；观测圆顶则起到保护望远镜及工控机等圆顶内的控制设备不受外部环境条件影响的作用。

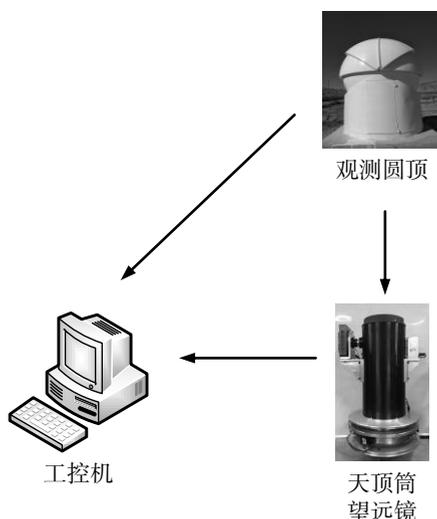


图 2 观测子系统结构图

2.2 控制子系统

控制子系统主要包括远程控制服务器、交换机、工控机、智能控制单元（PDU）、数字式摄像机及望远镜控制箱等部分，其连接关系如图 3 所示。

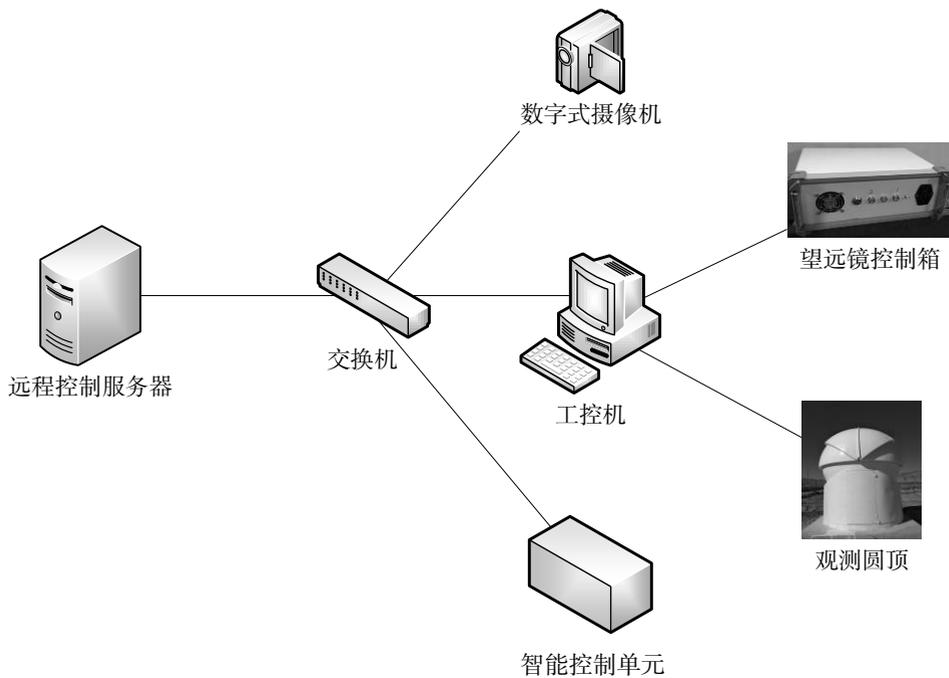


图 3 控制子系统结构图

其中，远程控制服务器起到连接整体网络、方便远程控制的作用。它通过交换机分别连接到工控机、PDU 和数字式摄像机 3 个设备。其中，PDU 通过其对望远镜及控制箱等设备进行电源控制，以防止观测及控制设备由于长期处于待机状态而产生元器件老化等不必要的损耗；数字式摄像机可对观测圆顶的环境情况及望远镜运转情况进行实时监测，作为观测运行过程的参考，实现整个观测过程的闭环可控；工控机则又分别连接至望远镜控制箱和观测圆顶，一方面通过对望远镜控制箱的控制，得到望远镜的实时运行情况，并可基于此对天顶筒望远镜的观测过程进行实时监控，另一方面通过串口连接至观测圆顶，以进行圆顶的开关控制。

2.3 传输与处理子系统

传输与处理子系统的构成如图 4 所示，主要包括工控机、远程控制服务器、磁盘阵列和临潼数据处理中心的服务器。天顶筒观测得到的图像文件会首先呈现在工控机端。由于观测数据量巨大，工控机的硬件条件有限，需将图像文件通过网络传输到远程控制服务器端进行存储和数据处理。

远程控制服务器分别连接到互联网、磁盘阵列和工控机。它通过计算机网络，将观测数据从工控机端取出，并存储于磁盘阵列上。在此基础上，可用相应数据处理软件处理得到 UT0 的中间结果，并传回临潼数据处理中心服务器端，再进行统一分析处理得到最终的 UT1。这样做可减少大量观测数据传输回数据处理中心服务器的时间，并保存了观测数据，以利于历史数据的分析与核查。

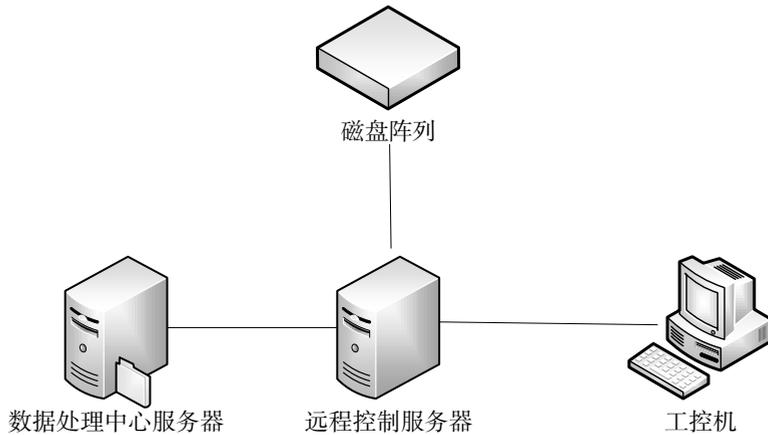


图 4 传输与处理子系统结构图

3 实际搭建运行

按照前述的设备连接，国家授时中心于 2017 年初步建成天顶筒 UT1 远程控制观测系统。现今已成功搭建临潼数据处理中心，及丽江、德令哈、洛南 3 个外站观测站点。在此基础上，进行了调试运行，以下是详细的运行测试情况。

3.1 测量系统运行情况

整个系统中的控制过程，主要是以 Windows 自带的远程桌面软件和 Teamviewer 软件，以及各设备自带的上位机软件配合完成。数据传输过程则使用 FTP 文件传输协议得以实现。加入编写的控制软件程序后，整个观测过程实现了完全的远程控制，系统的整体结构图如图 5 所示。

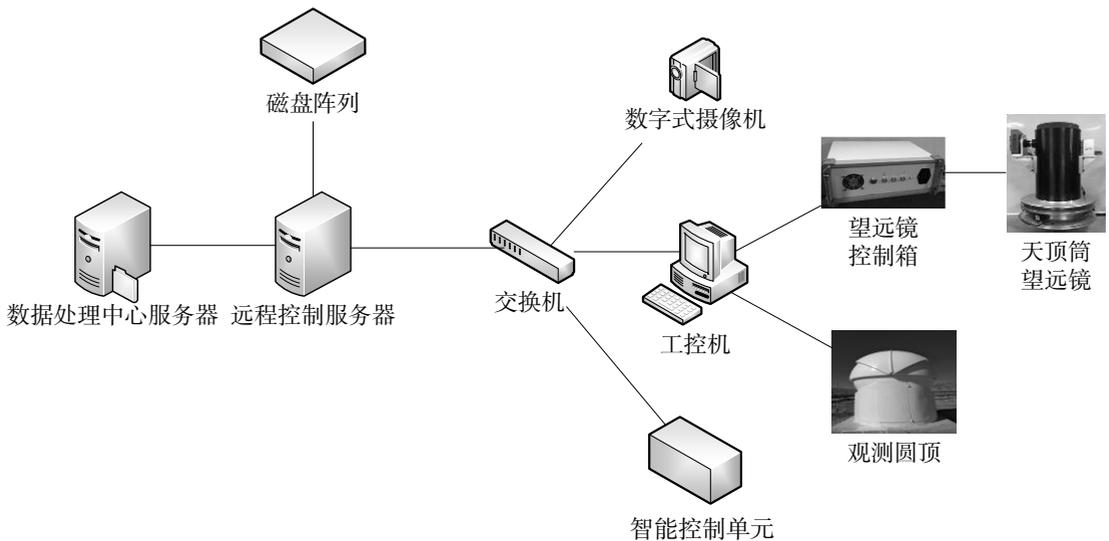


图 5 整体系统结构图

观测时，通过网络远程登录到远程控制服务器，打开观测系统控制程序。程序会通过站点外置的实时相机进行图像识别，自动判断并反馈观测指示，同时记录于远程控制服务器端，以作为观测日志的记录。在该服务器端用 PDU 对相应设备进行上电操作，再通过网络登录到工控机，在工控机端利用相应软件打开圆顶及天顶筒观测控制软件，设定望远镜定时启动观测，以便于设备观测时刻前的散热。定时时刻到后，设备会自动进行观测，观测数据将存储在工控机端。图 6 所示为网络控制圆顶天窗打开状

态图。通过这种设计模式,单台站的观测任务,人工控制时间不超过 5 min,单人多台站的观测得以实现。

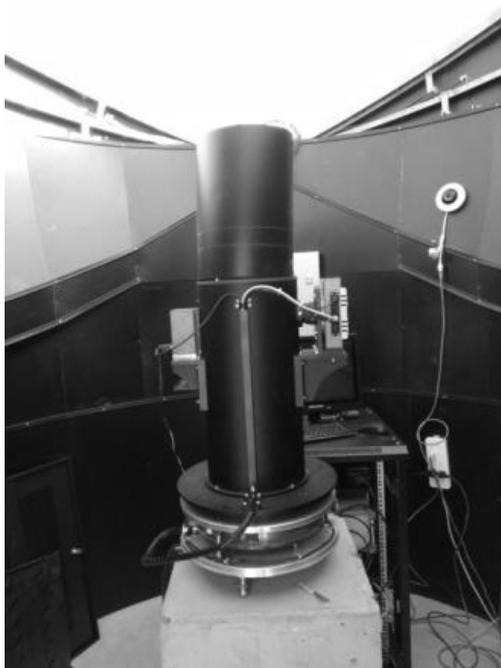


图 6 圆顶开启状态实物图

数据传输时,需将观测数据通过内网,从工控机端传送至远程控制服务器端的磁盘阵列中进行存储,并在该服务器端利用处理软件进行处理。随后将各个站点的文件集中下载传输回至临潼数据处理中心服务器,进行整合。经实际试验,每晚单台站的观测数据大约为 12 GB,通过这种处理方法,可将单台站传回数据量缩减至 1 MB 以内,传输时间由单站 4 h 缩短为不到 1 min,可极大缩减分析解算世界时的时间,满足了世界时实时性的需求。

3.2 系统网络安全

观测系统建立初期,德令哈站点曾受到勒索病毒的攻击,导致了系统瘫痪、数据丢失等一系列问题。因此,网络安全问题便成为整个控制系统中不可忽视的一部分^[12]。考虑到外网直接连接在远程控制服务器端,内部网络的结构并不易被攻击者分析透彻,为了降低风险,做出如下防护措施:

① 对远程登录的端口号进行更改。系统默认用于远程控制的 8080 端口存在安全隐患,较容易受到攻击。对端口号进行修改,可使远程控制端口不易被发现;

② 对登录用户信息进行更改。黑客登录都会首先尝试常用用户名和密码,针对此问题,另行设立两个最高权限的登录账号,再将默认用户 Administrator 权限降到最低,这样即使攻击者花较长时间攻击,却没有权限进行大规模破坏。设立两个最高权限的用户,可以互为备份,降低远程登录连接错误和账户未响应等风险;

③ 对上述②创建的登录账号设置复杂密码。将密码设置的尽量复杂,包含大小写、数字、特殊字符等内容,可以极大加大破解难度,提高破解时间;

④ 在远程控制服务器端安装“安全狗”防护软件。“安全狗”作为一款免费的云安全服务软件,能够从软件端进行实时监管和防护,极大降低了被重复攻击尝试的风险。

对每个站点进行上述安全防护设置后,天顶筒 UT1 测量系统自 2017 年 11 月到 2018 年 6 月已成功运行 8 个月,期间各观测站点正常运行。

4 结语

本文在综合考虑天顶筒观测条件及特点、世界时观测需求等的基础上,设计了可扩展的数字式天顶筒多站组网观测系统,从控制、观测、传输与处理子系统3个方面,进行了详细的介绍。在 UT1 测量系统实际搭建完成的基础上,对网络安全措施进行了简要说明。

无人值守的实现,使每个晴夜的平均观测时长可达 10 h,获得约 600~1 000 幅观测图像,与人工观测相比,积累了更长时段的观测数据,便于进行数据筛选与时段分析。网络结构的高可扩展性,为后期扩充站点提供了大量便利。远程控制观测系统的完成,实现了单人在室内多站点的观测可能,极大降低了人员的疲劳损耗。后期会加入实时的图像检测及控制程序,以实现天气不稳定自动关闭圆顶的功能,提高观测系统的自动化水平。

参考文献:

- [1] SEIDELMANN P K. 1980 IAU theory of nutation: the final report of the IAU working group on nutation[J]. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 1982, 27(1): 79–106.
- [2] 王博. 数字化天顶望远镜观测图像及数据处理方法研究[D]. 北京: 中国科学院国家天文台, 2014.
- [3] AOKI S, GUINOT B, KAPLAN G H, et al. The new definition of universal time[J]. *Astronomy and Astrophysics*, 1982, 105(2): 359–361.
- [4] GUINOT B. Solar time, legal time, time in use[J]. *Metrologia*, 2011, 48(4): 181–185.
- [5] 赵铭. 天体测量学导论[M]. 2版. 北京: 中国科学技术出版社, 2011: 52.
- [6] 南京大学天文系. 地球自转[K]. 南京: 南京大学, 1987.
- [7] 赵铭. 关于 UT0 和 UT1 关系的准确概念[J]. *中国科学院上海天文台年刊*, 1992(13): 7–11.
- [8] HIRT C, BÜRKI B. Status of geodetic astronomy at the beginning of the 21st century[J]. *Günter Seeber Anlässlich Seines*, 2006, 65: 81–99.
- [9] HALICIOGLU K, DENIZ R, OZENER H. Digital zenith camera system for Astro-Geodetic applications in Turkey[J]. *Journal of Geodesy and Geoinformation*, 2012, 106(1): 115–120.
- [10] 冒蔚. CCD 天体测量学[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 2003.
- [11] 谢希仁. 计算机网络[M]. 7版. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [12] 吴翰清. 白帽子讲 Web 安全[M]. 纪念版. 北京: 电子工业出版社, 2014.