

doi: 10.3969/j.issn.1000-8349.2016.z1.23

基于拼接太阳像的太阳导星镜和导行方法

朱庆生¹, 胡企千², 毛伟军², 张军平², 周小军¹

(1. 中科院南京天文仪器有限公司, 南京 210042; 2. 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: 传统的光电导行、线阵 CCD 导行等方法, 由于接收的太阳信息太少, 精度低, 抗干扰能力差; 采用大靶面的 CCD 用全日面像导行, 虽然精度高, 但成本高昂, 计算时间长。提出一种基于拼接太阳像的太阳导星镜和导行方法, 采用四片楔角方向正交的光楔, 各自对太阳像形成一定角度的偏转, 使四个太阳像在中央互相交叉而拼接成一幅新的枕形图像。该像携带了太阳的偏移信息, 用较小靶面的 CCD 即可精密测定太阳在赤经和赤纬两个方向的偏移量, 从而实现高精度、低成本的自动导行。该导星镜和方法已在为印度天体物理研究所研制的太阳色球望远镜上成功实现。

关键词: 太阳望远镜; 太阳物理; 太阳磁场; 色球; 全日面; 导行

中图分类号: P111.41 **文献标识码:** A

1 引 言

太阳望远镜在长时间观测时, 由于光学、机械、控制系统和气象等因素, 太阳像会慢慢偏离初始位置。为了解决这个问题, 一般采用在望远镜主镜筒上加装一只较小的导星镜筒, 因其重量极轻, 能保证主镜太阳像和导星太阳像的相对位置不变。利用导星镜里的太阳像, 进行人工导星或计算机自动导星, 即人工或计算机判别导星太阳像的偏差, 控制电机运动消除这个偏差, 使导星像保持不动, 从而使主镜太阳像保持稳定不动。

2 常见的全日面太阳导行方法

目前对太阳的全日面自动导行, 一般有三种方法。

(1) 光电管自动导行。非常不稳定, 对太阳的亮度、云量、天光等十分敏感, 而且精度很低, 故已经基本被淘汰。

通讯作者: 朱庆生, 85482014@163.com

(2) 线阵 CCD 或条形 CCD 自动导行。接收的太阳信息太少, 精度低, 抗干扰能力低, 优点是成本低廉。

(3) 对太阳整体成像, 能达到极高的自动导行精度。由于太阳像的空间角度一般在 $32' \sim 34'$ 即 $2\ 000''$ 左右, 若 CCD 上每个像元的空间分辨率为 $1''$, 则至少需要 $2\ 048 \times 2\ 048$ 像素的 CCD, 如考虑到太阳像的四边应留有一定的空白区域, 则应达到更高的像素; 另外, 从太阳像面的尺寸来看, 如采用焦距为 $1.5\ \text{m}$ 的导星镜筒, 则太阳像面约为 $14\ \text{mm}$, 如焦距为 $2\ \text{m}$, 则像面约为 $19\ \text{mm}$ 。可见要想对太阳进行 CCD 导星, 一般需要有较大靶面、高分辨率的 CCD, 这意味着需要较昂贵的 CCD 和较长的图像下载和处理时间。

3 基于拼接太阳像的太阳导星镜

为了克服传统导行方法的不足, 我们先后提出了两种新型太阳导星镜。

3.1 分割镜面法拼接太阳像导星镜

把完整的折射导星物镜, 中心对称分割为四等份, 如图 1 所示。图 1 中 1、2、3、4 为分割出的 4 个子镜, 5、6、7、8 为 4 个子镜所成的太阳像, 9 所指示的为 4 个太阳像均未覆盖的区域^[1]。

微调图 1 中各个分割子镜与光轴的夹角, 使各子镜所成的太阳像稍有偏离, 形成如图 2 所示的 4 个太阳像。图 2 中 8 为未分割前的物镜所成的太阳像, 9、10、11、12 为分割子镜所成的四个太阳像, 13 为 CCD 靶面 (图中为了方便看清楚位置关系, 已把 CCD 的尺寸放大), 14 为四个太阳像都未覆盖到的 CCD 靶面。

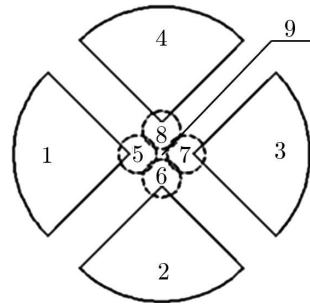


图 1 主镜分割为 4 个子镜

CCD 视场中所成像的放大图如图 3 所示。图 3 中的阴影部分为太阳未照到的区域, 其边界包含了和全日面像相同精度的太阳像赤经赤纬偏移信息, 而其尺寸和像元数则远小于全日面像, 因此可以用很小靶面较低分辨率的 CCD 来实现高精度的太阳导行。这种导星方法的另一个优点是, 它基本不受一年四季太阳像大小变化的影响。

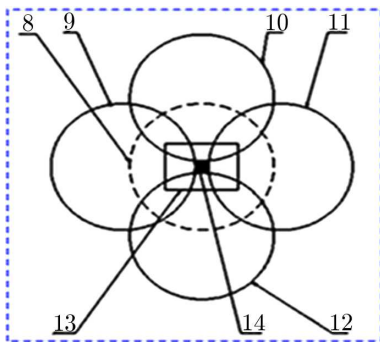


图 2 分割子镜形成的太阳像

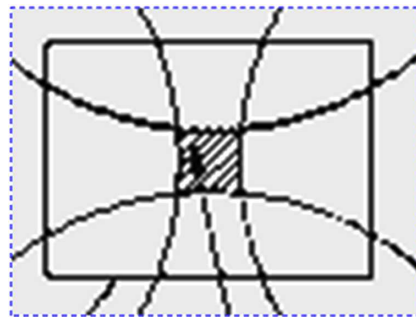


图 3 CCD 所成的导星太阳像示意图

3.2 光楔折光法拼接太阳像导星镜

由于4个子镜的装配和相对位置的精细调整比较困难，我们对拼接太阳像的方法进行了改进。新方法采用以光楔为折光元件，在导星物镜前面，安装4片光楔，其楔角以及所覆盖的口径相同，但楔角方向不同，如图4、图5所示，4片光楔使太阳像分别向上下左右四个方向发生偏折^[2]。这样免除了分割镜面，并且因为光楔的楔角很容易加工得非常准确，所以安装后无须再调整，极为方便快捷。

图4中1为光线入射方向，2为经光楔后光线的出射方向； α 为楔角， β 为光线偏折角，在小角度条件下， $\beta = (n - 1)\alpha$ ， n 为光楔材料的折射率。图6中3为导星物镜，4、5、6、7为4只光楔，箭头为光楔的楔角方向。

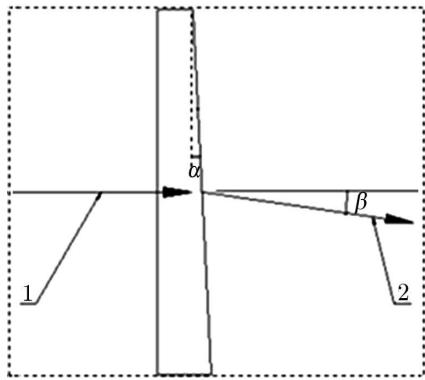


图4 光楔侧视图

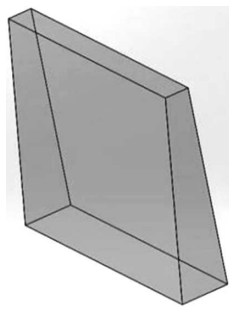


图5 光楔立体图

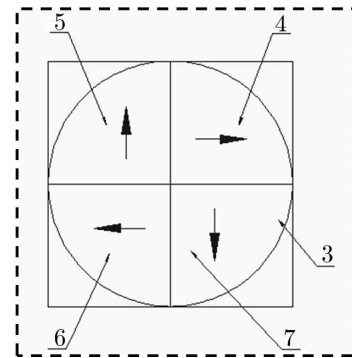


图6 光楔拼接示意图

4 基于拼接太阳像的导行方法

4.1 导行系统框图

太阳导行系统的框图如图7所示。

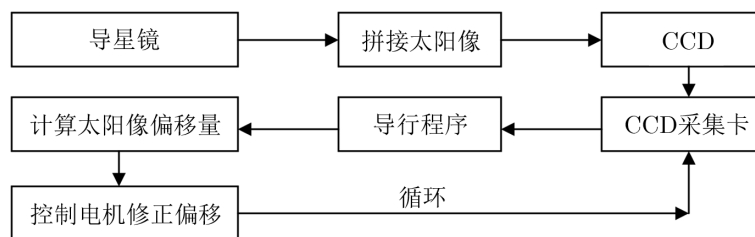


图7 太阳导行系统框图

4.2 导行设备及参数的选择

经实际试验，我们采用2 m焦距的导星物镜，Mintron MTV-1881黑白视频CCD相机，

CCD 靶面对角线约 8 mm, 使用视频采集卡, 以 PAL 制式 352×288 分辨率捕捉视频信号。CCD 视场约 12' × 8.6', 像素分辨率约 2"。用于导行的拼接太阳像可选择 5' 左右, 约占 150 像素。经在南京大学 ONSET 望远镜、印度天体物理所太阳色球望远镜等望远镜上使用, 获得了满意的导星效果, 导星精度为 0.1" ~ 0.3"。根据实际需要, 物镜焦距可以在 1~2 m 间选定, CCD 也可选用 Mintron 32K9 或其他型号, 分辨率也可采用 NTSC 制式 320×240。采用 640×480 或 704×576 的视频制式, 可以获得更高的像素分辨率。

4.3 自动导行算法

自动导行算法如图 8 所示。

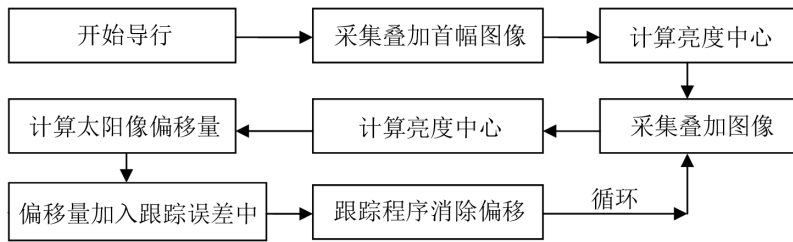


图 8 太阳自动导行算法流程图

导行程序通过视频采集卡, 采集视频图像, 帧率可在 10~30 帧/秒间选定。采集到的图像, 先进行叠加和滤波处理, 得到图 9 中的叠加拼接太阳像; 再做反相, 得到图 10 中的反相叠加拼接太阳像, 作为导行的依据。

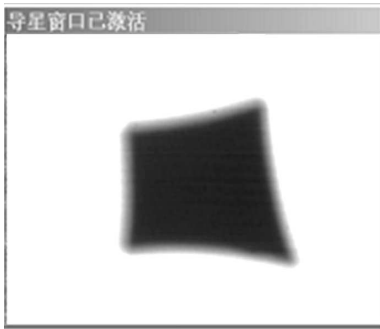


图 9 叠加拼接太阳像

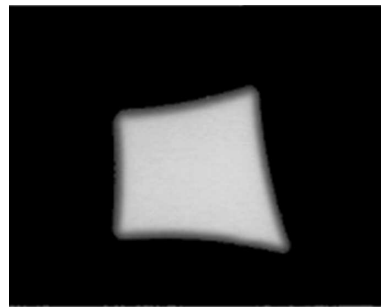


图 10 反相叠加拼接太阳像

导行程序循环计算反相叠加拼接太阳像的亮度中心坐标, 根据当前图像亮度中心偏离初始图像的像素数 (带小数), 结合像素对应的角秒数, 计算太阳像的偏移量。在跟踪误差值上, 加上该偏移量。由跟踪程序消除太阳像的偏移, 实现定量的导行误差消除^[3]。

5 结 论

最新一套光楔折光法拼接太阳像导星系统于 2014 年 10 月在印度天体物理所定制的太阳色球望远镜上调试成功。其安装极其方便, 能从太阳升起到落下连续自动导行, 导行精度为 $0.1'' \sim 0.3''$, 并具有良好的抗干扰能力, 太阳亮度变化对导行精度无影响。该系统遇薄云仍能正常导行, 遇厚云能自动暂停导行并根据码盘值自动跟踪, 云退自动恢复导行, 做到全天无人工干预的高精度自动跟踪和自动导行。

参考文献:

- [1] 胡企千, 姚正秋. 天文望远镜设计. 北京: 中国科学技术出版社, 2013: 442
- [2] 胡企千. 天文望远镜技术与天文测天. 南京: 东南大学出版社, 2014: 264
- [3] 吴春晖, 朱庆生, 周小军. 天文研究与技术, 2007, 2: 147

A Solar Auto-guide Telescope Based on Combined Images

ZHU Qing-sheng¹, HU Qi-qian², MAO Wei-jun²,
ZHANG Jun-ping², ZHOU Xiao-jun¹

(1. Nanjing Astronomical Instruments Limited Company, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042;
2. Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210042)

Abstract: Photoelectric guide and linear array CCD guide, two traditional solar guiding methods, has the disadvantage of low precision of guiding and poor anti-interference ability. Full-disk solar image guide, in which large area CCD is needed, improves the precision of guiding, but the cost is high and much time is taken in data process. In this paper, a new solar guiding scope design and a new guiding method based on combined solar images are highly introduced. Through four optical wedges with the wedge angle orthogonal to each other, we can get four deflected solar images. Combine the images at the center of the imaging plane to form a new pillow image, which will change with the Sun swift. A small area CCD is enough to get high-precision solar guiding in this method, so the cost is pretty low. This method has been applied successfully on the Solar Chromospheric Telescope of IIA (Indian Institute of Astrophysics).

Key words: solar telescope; solar physics; solar magnetic field; chromosphere; whole solar image; solar guide