

太阳辐射计全自动跟踪转台的设计

杨东军^{1,2}, 方伟¹, 王玉鹏¹, 叶新¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所空间一部, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 太阳辐射度的地面测量精度除受辐射计的测量精度影响外, 还受太阳跟踪转台精度的影响; 为了推广不同区域太阳辐射度的测量, 实现高精度地面辐射度的长期准确测量, 文中结合硅光电池跟踪结构和视日运行轨迹程序跟踪方法, 设计了每天能定时开关机工作, 能适应有云气候的全天候、高精度、全自动控制的太阳跟踪转台, 满足了该仪器用于野外观测站应用的要求; 实验证明, 该转台系统误差小于 1‰, 运行稳定, 满足太阳辐射度高精度测量的要求。

关键词: 绝对辐射计; 转台; 太阳辐射度; 光电池

Design of Automatic-tracking Rotating Stage of Solar Radiometer

Yang Dongjun^{1,2}, Fang Wei¹, Wang Yupeng¹, Ye Xin¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In addition to the solar radiometer's accuracy, the accuracy of the rotating stage also affects the accuracy of the solar irradiance ground measurement. In order to archive and advance the precision measurement of solar irradiance, combines the photoelectric cell track and the depending on the sun running track, designs a new all-weather, high precision, automatic controlling sun tracking rotating stage, which can work in cloudy days and work on time everyday, and meets the requirement of the observation station. The results show that this stage has no more than 1‰ systematic error, and has stable operation and can meet the requirements of the high accuracy solar irradiance measurement.

Key words: absolute radiometer; rotating stage; solar irradiance; photoelectric cell

0 引言

太阳辐射变化规律的研究对地域气候变化和持续干旱等异常气候观测具有重要意义。多地区的长期太阳辐射观测结合日照、温度等气象因子, 可以对我国地面总辐射的时空分布特征和变化趋势进行分析, 为地域气候变化提供科学数据。目前, 我国日射站稀少, 辐射度测量仪器多采用瑞士、美国和荷兰的仪器, 价格昂贵, 不利于辐射度测量推广。

长春光机所研制主要用作航天卫星载荷和地面气象站辐射度监测的太阳辐射计 SIARs, 从 2002 年 9 月开始在世界辐射中心同世界标准组 (WSG) 辐射计一起安装在瑞士 PMOD 的太阳跟踪架上, 进行了长期的太阳辐射度例行观测试验, 并同世界辐射基准的辐射度标度进行比对, 试验表明仪器性能完全达到了 WSG 的水平, 可作为辐射基准仪器^[1,2]。

SIARs 地面监测太阳辐射度时, 除 SIARs 本身性能外, 配套太阳跟踪转台的精度是制约 SIARs 观测精度的主要因素。传统的基于光电池的 SIARs 跟踪转台只能在天气晴朗时使用, 天空突然出现的云团会影响转台跟踪, 出现跟偏甚至不跟现象^[3]。为了推广我国区域太阳辐射度的测量, 实现太阳辐射度的全自动控制, 本文结合光电池跟踪和视日运行轨迹跟踪, 设计了全天候, 高精度, 全自动控制的太阳跟踪转台。实验表

明, 该转台满足太阳辐射度高精度测量的要求, 系统误差小, 运行稳定。

1 传统光电池跟踪

光电池跟踪系统由太阳辐射计、跟踪器、步进电机、微处理器系统以及机械部分组成, 结构如图 1 所示。跟踪器由呈十字分布代表 4 个方位的 4 块硅光电池 A、B、C、D 组成, 每块光电池两端接导线 (绝缘铜丝), 负电极共地。

当有太阳光进入跟踪器, 微处理系统采集跟踪器的 4 块光电池的值, 如果跟踪器已经对准太阳, 则光电池 A 和 C 正极之间的电压差 $V_{AC}=0$, 光电池 B 和 D 正极之间的压差 $V_{BD}=0$, 电机不动。当跟踪器跟踪偏离时, V_{AC} 或 V_{BD} 有压差, 压差被 AD 采样, 经过 DSP 的控制算法决定电机 A (控制水平旋转) 或电机 B (控制俯仰方向) 的旋转方向和步数, 电机动作后再次进行采样和控制, 如此反复直到 V_{AC} 和 V_{BD} 的压差均接近于零, 此时光电传感器的定位光孔所形成光斑与参考光孔重合, 由于设计中 A 轴、B 轴和 C 轴相互平行, 此时太阳辐射计对准太阳, 转台实现了对太阳的跟踪^[4]。

光电池跟踪精度高, 能满足 SIARs 太阳辐射度的要求, 但受天气限制, 当天空突然出现云团时会跟偏的现象, 如果云团出现的时间长, 甚至会出现不跟的情况。在云团离开后, 需要人工调整转台的位置才能再次跟踪测量。这大大限制了 SIARs 在日射站观测的效率和推广。

2 视日运行轨迹跟踪

视日运动轨迹跟踪的原理是借助经纬度和时间, 利用天文公式计算得到两个时刻太阳天顶角和方位角的差值, 然后通过 MCU 驱动两个电机按一定方向转动相同的角度差, 实现太阳

收稿日期:2010-12-16; 修回日期:2011-01-28。

基金项目:吉林省青年科研基金项目资助(20090117)。

作者简介:杨东军(1979-), 男, 山东省莱芜市人, 在读光学工程专业博士, 主要从事微弱信号监测及太阳辐射计量等的研究。

方伟(1965-), 女, 研究员, 博导, 主要从事空间辐射计量研究。

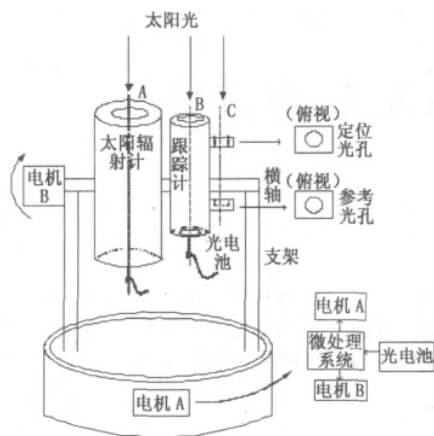


图1 光电池跟踪系统

的实时跟踪。

$$N_0 = 79.6764 + 0.2422 \times (NF - 1985) - \text{INT}((NF - 1985) / 4) \quad (1)$$

$$t = N - N_0 \quad (2)$$

$$\theta = 2\pi t / 365.2422 \quad (3)$$

$$\delta = 0.3723 + 23.2567 \sin \theta + 0.1149 \sin 2\theta - 0.1712 \sin 3\theta - 0.758 \cos \theta + 0.3656 \cos 2\theta + 0.0201 \cos 3\theta \quad (4)$$

$$S_d = S_b + (F_b - (120 - J_d) \times 4) / 60 \quad (5)$$

$$E_t = 0.0028 - 1.9875 \sin \theta + 9.9059 \sin 2\theta - 7.0924 \cos \theta - 0.6882 \cos 2\theta \quad (6)$$

$$S_z = S_d + E_t / 60 \quad (7)$$

$$\gamma = (S_z - 12) \times 15 \quad (8)$$

$$h_0 = \arcsin(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \gamma) \quad (9)$$

$$A = \arccos((\sin h_0 \sin \varphi - \sin \delta) / \cos h_0 \cos \varphi) \quad (10)$$

其中： NF 为当前日期的年份； N 为积日； θ 为日角； δ 为赤纬角； S_d 为地方时； S_b 为北京时； F_b 为北京分； J_d 为经度； E_t 为时差； S_z 为真太阳时； γ 为时角； φ 为纬度； h_0 为高度角； A 为方位角。

2010年2月2日长春太阳高度角和方位角曲线如图2所示。横坐标以2分钟为间隔，从0时到24时。

在8点(NU240)到16点(NU480)时间段，高度角先增加后减小，在12点达到最大值，方位角递增。每两分钟角度偏差如图2中Azimuth/Altitude图所示，高度角的角度偏差大(−0.3058~0.3403)，而方位角的角度偏差小(0.3817~0.5492)。考虑到季节因素，设定两分钟内高度角最大偏差为(0.3403−(−0.3058))×2=1.2922≈1.3°，方位角最大偏差(0.5492−0.3817)×2=0.335≈0.4°。

3 全天候自动跟踪

3.1 电源控制

由于日射站点多位于海拔较高的地区，测试人员少，且站点的观测仪器众多，为了方便操作和安全，设计太阳辐射计和转台为定点自动开关机。如图3所示，555定时器产生计数器CC4020的时钟CLK，计数器Q14脚的电平变化控制三极管Q1的开关，当Q1导通时继电器作用使得常开触点闭合，即220V电源导线接通，实现220V给辐射计和转台供电^[5]。

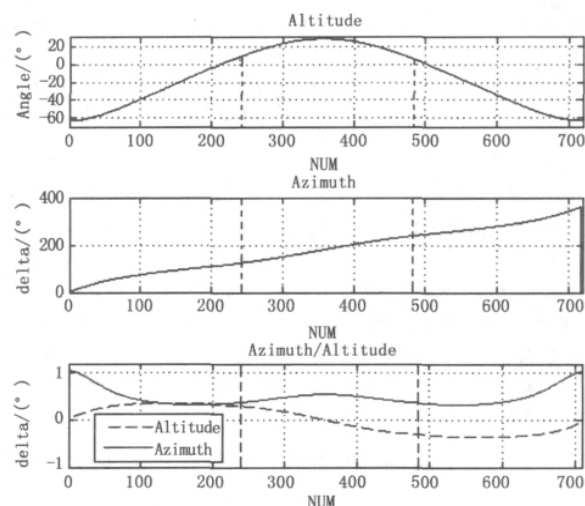


图2 高度角和方位角曲线

设定辐射计测量时间为8点~16点共8小时，停止测量时间为16小时。计数器CC4020的Q14高电平时间 $2^{13}T$ ，低电平时间 $2^{14}T$ ，满足辐射计开关时间1:2要求。 T 为7555产生的方波周期，由 $2^{13}T + 2^{14}T = 24(h) = 86400(s)$ 得到周期 $T = 3.5156(s)$ ，因此调整 R_3 和 R_4 阻值，使7555定时器周期满足3.5156s，则可以实现电源的每天固定时刻通断电。

3.2 电机控制

选用的是SANYO公司的RM2424S, 1.5A, 1.8DEG/STEP的四相步进电机。由于每2分钟高度角变化1.3°，方位角变化0.4°，为了使得电机跟踪精确，电机需要细分到0.01°/步。这时高度角每两分钟走130步，方位角走40步。

由于电机的驱动电流远大于DSP的I/O口电流，需要单独进行驱动，我们选择应用驱动芯片SLA7024进行电机的驱动。选择四相八拍方式，通过调整外围电阻，使得驱动电流1.2A。

电机控制流程如图4所示。

3.3 系统控制流程

定时电源导通时，辐射计上电开始初始化(15min)，转台控制电路通电后驱动两电机转动，当采集到定位霍尔元件信号时电机回归零点，此时高度角和方位角均为零，DSP开始采集X1226当前时间，运用视日运行轨迹公式计算当前时刻的高度角和方位角，由此计算水平和俯仰电机需要转动的角度，DSP驱动电机转动到指定位置，此时DSP开始采集光电池电压值，并控制电机精密跟踪太阳。辐射计初始化完成后，自动开始辐照度的测量。

当有云团出现时，控制流程如图5所示。如果光电池采样值 S 小于预设阈值 S_{set} 时，DSP通过串口发送Stop指令到PC软件，PC软件收到指令后，通过串口给辐射计发送break命令使辐射计停止测量，等待PC机发送重新开始测量指令。等待5分钟后，电机归零，然后采集X1226当前时间，通过视日运动轨迹方程驱动电机到当前位置，然后判断光电池采样值 S 是否大于 S_{set} ，如果满足条件，DSP驱动电机进行光电池跟踪，并给PC机发送ready指令，PC机收到指令后，给辐射计发送restart命令，使辐射计重新开始辐照度测量^[6]。

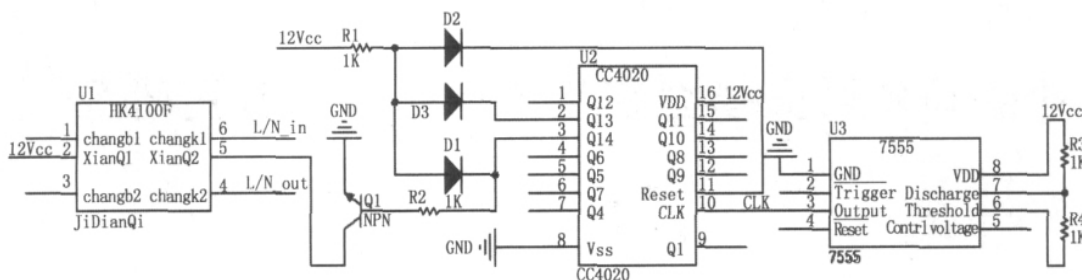


图 3 定时电源

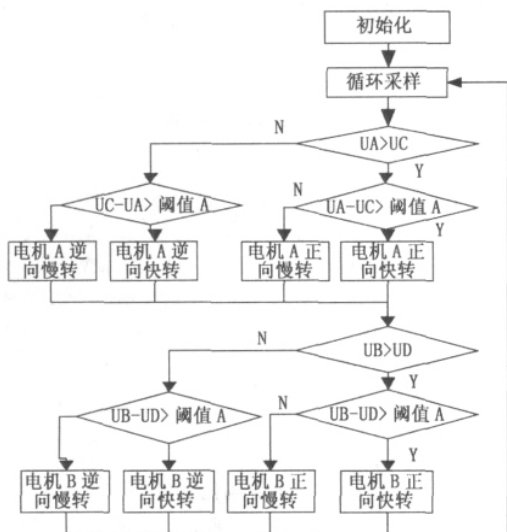


图 4 电机控制流程图

3.4 软件控制

VC 编写的控制界面主要通过串口与转台控制系统和辐射计测量系统通信。实现经纬度设置，时间设置，跟踪间隔时间设置，高度角显示，方位角显示，光电池数据显示，数据保存，控制设置等。

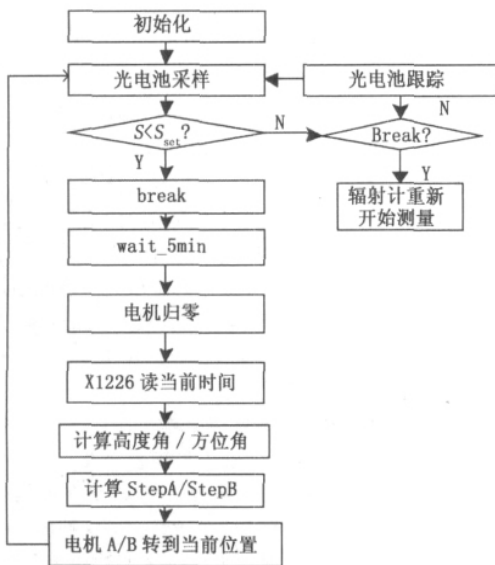


图 5 系统控制流程图

4 试验

4.1 挡光实验

为了验证在有云时转台跟踪是否正常，在光电池探测器前每 10 分钟遮挡太阳光一次，实验表明在经过 5 分钟等待后，转台再次跟踪正常，实现了有云天气的太阳跟踪。

4.2 跟踪精度实验

为了验证转台跟踪精度是否满足辐射计地面测量的要求，利用国际辐射基准（WRR）标定过的基于光电池跟踪的转台系统（M-01）和辐射计（SIAR_1a、SIAR_2c）标定该转台。SIAR_1a 放置在 M_01 上，SIAR_2c 放置在新转台上，两台辐射计的国际比对系数分别为： $R_{1a} = 1.001928$ ， $R_{2c} = 1.000016$ 。设 SIAR_1a 辐照度测量值为 I_1 ，SIAR_2c 辐照度测量值为 I_2 ，则两台辐射计测量结果分别为： $I'_1 = I_1 \times R_{1a}$ ， $I'_2 = I_2 \times R_{2c}$ 。

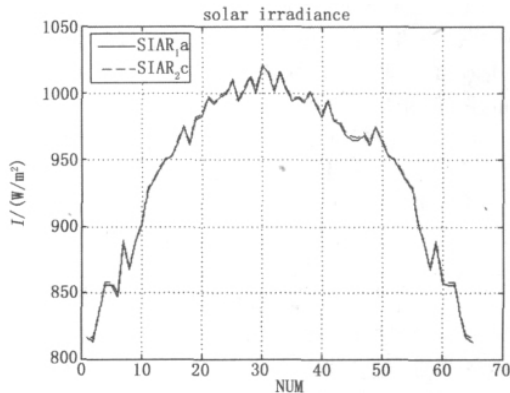


图 6 测量数据曲线图

一整天测量中，实验数据曲线如图 6 所示^[7]。

SIAR_1a 和 SIAR_2c 所测辐照度值相差微小，所测值 I'_2/I'_1 的均方根： $s = 7.03 \times 10^{-4} < 1\%$ 。

试验测试表明，该转台上辐射计所测辐照度值与 M-01 转台上辐射计所测辐照度值的一致性良好，偏差小于 1%，表明系统的跟踪效果良好，满足太阳辐射计地面辐照度测量的跟踪精度要求。

5 结论

传统的光电池跟踪转台受天气影响，在突然出现云团时会出现跟踪偏离甚至不跟的现象。为了推广绝对辐射计在我国气象观测中的应用，为地域气候变化作贡献，本文结合光电池跟踪和视日运动轨迹跟踪，在实现了定时工作的同时，设计了全

(下转 2006 页)

3.3 G-CHMM 步态识别

对于被测试的步态序列,在样本库中各个模型下利用前向算法输出一个对数似然概率值,把输出概率最大的模型作为该未知步态的代表,识别过程如下:

被测试人 u 的步态图像序列计算出特征矢量序列为 x^u 。

假设样本数据库中包含 P 个人相应的 G-CHMM 参数及其关键帧, $j \in \{1, 2, \dots, P\}$, 根据下式计算对于人 u 的每一帧特征矢量

$$f_j^u(t) = d(x^u(t), e_i^j), i \in \{1, 2, \dots, N\} \quad (18)$$

利用前向算法计算 $f_j^u(t)$ 在 λ_j 下的条件概率

$$P_j = \log(P(f_j^u(t) | \lambda_j)) \quad (19)$$

把 P_j 按从大到小的顺序排列, P_j 的最大值应该是所期望的人 u 。

4 实验结果

利用 CASIA 数据库对本文方法进行了实验。CASIA 是一个大规模的多视角数据库,此库包含 124 个人,11 个视角,每个视角有 10 个序列,在三种衣着条件下拍摄(普通,带包和穿大衣),共有 13640 个序列。算法在 CASIA 数据库上进行测试,采用 12 个人 72 个序列。按照服饰变化(不同的服饰)、观察角度不同(两个观察角度)、携带情况变化(携带和不携带公文包)三种情况进行了实验。高斯元数 $M=4$ 。根据聚类评价函数,实验取 N 值 7。并将本文方法与文献 [5-6] 的方法进行了比较,结果如表 1 所示。从实验结果看出:对服饰变化本文方法与文献 [5] 方法结果相近,并且识别率不高,因为某种服饰隐藏了步态的特征参数;对携带情况变化与文献 [6] 方法结果相近;对观察角度变化本文方法识别率有明显的提高。由于本文方法既考虑了步态姿态的静态形状特征,又反映步态的动态特性。

表 1 在 CASIA 数据库上几种算法识别率的比较

识别率 实验条件变化	文献[5]	文献[6]	本文方法
服饰变化	42%	35%	41%
观察角度	83%	84%	89%
携带情况变化	60%	64%	63%

(上接 2003 页)

天候,高精度,全自动控制的太阳跟踪转台。该转台系统误差小于 1‰,运行稳定,满足太阳辐照度高精度测量的要求。另外,该转台在太阳能热水器等太阳能利用领域也将具有广泛的应用前途。

参考文献:

- [1] 方伟,等. 太阳辐照绝对辐射计 (SIAR-1) 与国际比对 [J]. 光学学报, 2003, 23 (1): 112-116.
- [2] 方伟等. 太阳辐射绝对辐射计及其在航天器上的太阳辐照度测量 [J]. 中国光学与应用光学, 2009, 2 (1): 23-28.

5 结论

本文提出了一种基于 G-CHMM 步态身份识别方法。用边缘到重心的距离所构成的矢量表示单个步态轮廓特征矢量,在此基础上求出步态序列特征,反映出步态姿态的静态形状特征。对传统的 HMM 算法进行改进,提出了基于高斯混合输出的连续隐马尔可夫模型 (G-CHMM) 进行步态识别。在 G-CHMM 训练过程中采用 K 均值训练算法,运用多个高斯混合元对观测矢量进行训练,优化 B 初值的选取,从而更能反映步态的动态特性。在训练过程中,采用增加比例因子的方法,对训练算法加以修正,解决了算法的溢出问题。从实验结果看,本文方法具有较高的识别率,并对观察角度变化具有较强的鲁棒性。

参考文献:

- [1] Niyogi S, Adelson E. Analyzing Gait with Spatiotemporal Surfaces [A]. Proc. of IEEE Workshop on Motion of Non-Rigid and Articulated objects [C]. 1994, 64-69.
- [2] Amit Kale, Rajagopalan A N, Sundaresan A, et al. Identification of Humans Using Gait MD20740 [A]. Center for Automation Research University of Maryland at College Park [C]. 2002.
- [3] Lily Lee. Gait Analysis for Classification [R]. AI Technical Report 2003-014, The city of Cambridge Massachusetts, USA Massachusetts Institute of Technology - Artificial intelligence laboratory, 2003.
- [4] 蒋加伏, 宋艺, 杨鼎. 基于混合不变距的步态识别 [J]. 计算机工程与设计, 2009, 1: 179-181.
- [5] Xiao Degui, Yang Lei. Gait Recognition using Zernike Moments and BP Neural Network [A]. Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC [C]. 418-423, 2008.
- [6] Hong Sungjun, Lee, Heesung, Toh, Kar-Ann, et al. Gait recognition using multi-bipolarized contour vector [J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2009, 7 (5): 799-808.
- [7] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, and Roger Boyle. Image Processing, Analysis and Machine Vision [M]. Chapman & Hall computing series. Chapman & Hall Computing, London, edition, 1993.
- [8] Rabiner L R. A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77 (2): 257-258.

- [3] 杨东军, 方伟, 叶新, 等. 绝对辐射计参数测量的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (10): 1892-1894.
- [4] 杨东军, 方伟, 叶新. 太阳辐射计自动跟踪系统的设计 [J]. 微机计算机信息, 2009, 25 (8-1): 16-17.
- [5] 赵玉玲, 斯扬华. 自动循环定时装置的设计制作 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2004, (3): 51-52.
- [6] 杨东军, 方伟, 叶新, 等. 太阳辐射监测仪遥测信号采集系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (9): 1851-1853.
- [7] 杨东军, 方伟, 王玉鹏, 等. 基于 Matlab GUI 的太阳辐射定标数据处理平台设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (7): 1426-1428.