

文章编号: 1003-501X(2006)02-0025-04

CCD 激光自准直系统测光电 经纬仪车载平台变形

张东梅^{1,2,3}, 尚春民³, 乔彦峰¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 长春理工大学, 吉林 长春 130022)

摘要: 车载平台变形是影响光电经纬仪跟踪精度的关键因素, 提出了利用 CCD 激光自准直测量系统来测量车载平台变形的新方法。用 CCD 系统采集车载平台的变形视频信号, 计算机对视频信号进行处理得到脱靶量数据, 由此即可算出车载平台变形量。实验数据分析结果表明, 车载平台变形量随着速度和加速度呈周期性变化, 变形曲线的趋势与加速度曲线的趋势相同。当经纬仪以 60°/s 速度引导工作时, 方位最大变形为 12.57", 高低最大变形为 5.98"。这种方法为进一步研究反馈补偿以提高经纬仪的跟踪精度提供了理论依据。

关键词: CCD; 激光自准直; 车载平台; 变形测量; 图像处理

中图分类号: TN247

文献标识码: A

Deformation measurement for vehicle platform of photoelectric theodolite with CCD laser collimation system

ZHANG Dong-mei^{1,2,3}, SHANG Chun-min³, QIAO Yan-feng¹

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

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

3. Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Since deformation of vehicle platform is a key factor to influence the precision of the theodolite tracking, a new method is presented to measure the deformation of vehicle platform using CCD laser collimation measurement system. The video signal of the deformation of vehicle platform is gathered by CCD system. The data of undershoot quantity is gotten through processing the video signal in computer and then the deformation quantity of vehicle platform is obtained. The experimental data shows that the deformation quantity of the vehicle platform varies in period with the speed and acceleration, and the trend of deformation curve is the same as the acceleration curve. Maximal deformation of azimuth is 12.57" and maximal deformation of altitude is 5.98" when theodolite guides at the speed of 60°/s. This test provides base for feedback and compensation to improve tracking precision of photoelectric theodolite.

Key words: CCD; Laser collimation; Vehicle platform; Deformation measurement; Image processing

引言

现代靶场中广泛装备的经纬仪主要有两种工作状态,一种是固定站式,一种是活动站式。在活动站工作时,车载平台随机停在不同的地面上,可以满足不同地点、不同时间实时进行测量和跟踪,机动性强,适合现代战争中的运动战,可提高部队的快速反应能力,具有较大的优越性。我国第一台 RCG441 车载激光对抗武器系统属于车载平台对抗武器系统,此系统开创了我国车载平台系统(不下车)的先河^[1,2,3]。光电经纬仪直接安装到车载平台上,执行工作时存在各种因素(如地面的工况、车载平台的变形等)直接影响光电经纬仪的精度,使经纬仪跟踪时带来误差^[4],解决好由车载平台带来的误差是提高活动站工作精度的关键。经纬仪的工作速度和加速度不同,车载平台的变形量不同,采用一种 CCD 激光自准直非接触式测量系统来测量车载平台的变形,对变形与经纬仪速度和加速度之间的关系进行分析,可以进一步提高光电经纬仪的工作性能。

1 系统组成及工作原理

为了准确地获得车载平台变形的数据,设计了一套高精度 CCD 激光自准直非接触测量系统,如图 1 所示。系统主要包括发射光学系统和 CCD 接收系统两部分。发射光学系统主要由安装在车载平台上平面反射镜、物镜系统、发光系统和目视系统组成。发射光学系统提供 CCD 摄像系统及光束光轴指向的方位角,光源提供可见光波段的准直光源。CCD 接收系统主要由面阵 CCD 相机和计算机处理系统组成,主要是实时采集并处理图像,进行光电测角。

系统工作原理是:如图 1 所示,在光源发射系统中,光源发出的光经聚光镜和前组物镜组成的准直光学系统后形成平行光射出,照在平面反射镜上返回;若平面反射镜与光轴垂直,则平行光按原路返回,经前组物镜及成像负透镜在 CCD 靶面上成像,以此作为原点,代表光束自准直后的像点位置。在进行 CCD 激光自准直的同时,通过目镜可以在分划板上看到光像点。当平面反射镜与光轴不垂直,假设夹角为 α ,则返程光线与光轴有 2α 夹角,成像在 CCD 靶面上,其光点中心距原点距离为 $2\alpha \times f'$ (f' 是 CCD 物镜焦距),通过 CCD 像元计数,可以求出 α 角。

2 视频图像处理

车载平台的变形量成像在测量系统的面阵 CCD 上,图像采集卡接收探测器的视频信号,经滤波, A/D 转换成数字信号,传送到计算机,如图 2 所示。通过计算机编程对图像数据进行二值化处理,得到实时测量的数据,即得出 x, y 方向上的脱靶量,并将结果记录下来。视频判读原理如图 3 所示,以 CCD 靶面中心位置为原点建立直角坐标系,设 A 点为目标的像点,它偏离坐标原点的量称为脱靶量,记为 $(\Delta x, \Delta y)$ 。在图像判读过程中采用的是质心判读法^[5],质心判读法是一种自动判读方式,质心即目标可视部分图像灰度分布重心。根据物理学重心的定义,设一幅 $M \times N$ 的图像,目标图像在点 (x, y) 的灰度值 $f(x, y)$,其质心为

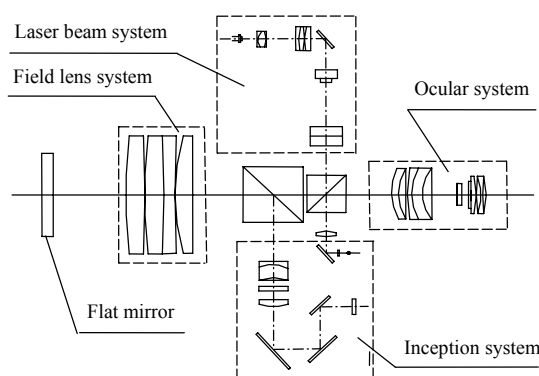


图 1 测量系统组成

Fig.1 Structure of measuring system



图 2 变形量图像

Fig.2 Deformation quantity image

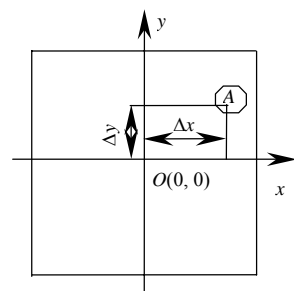


图 3 视频判读原理

Fig.3 Principle of video read

$$\begin{cases} \bar{x}_0 = [\sum_{x=0}^{N-1} x \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)] / [\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)] \\ \bar{y}_0 = [\sum_{x=0}^{N-1} y \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)] / [\sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y)] \end{cases} \quad (1)$$

则脱靶量为

$$\begin{cases} \Delta x = x_0 - \bar{x}_0 \\ \Delta y = y_0 - \bar{y}_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中 (x_0, y_0) 为靶面中心坐标; (\bar{x}_0, \bar{y}_0) 是计算出来的质心点坐标; $(\Delta x, \Delta y)$ 分别为 x 和 y 方向的脱靶量, 单位是像元个数, 则车载平台的变形量可表示为

$$\alpha_1 = (180/\pi)(\Delta x b_1 / 2f), \quad \alpha_2 = (180/\pi)(\Delta y b_2 / 2f) \quad (3)$$

式中 α_1 为方位变形量(/度); α_2 为高低变形量(/度); f 为 CCD 成像物镜焦距(/mm); b_1, b_2 分别为 x 方向和 y 方向像元间距(/mm)。把式(2)中得到的脱靶量数据代入式(3), 可实时动态测量出车载平台变形量 α_1 和 α_2 。

为了满足测量系统实时性的要求, 视频判读系统中图像采集和处理采用并行方式, 即图像采集和处理是分别进行的, 视频图像的处理采用滞后一帧的处理方法: 首先将第一幅图像数字化并存储到帧存中, 从第二时间 T 开始, 当第二幅图像数字化并存储到帧存中时, 系统已完成对第一幅图像的处理; 依次进行下去, 即可完成实时处理, 每次处理的图像滞后一帧。

3 实验研究

如图 4, 将某型号光电经纬仪吊装到车身转盘上, 车身由四个刚性支腿支撑, 四轮离地, 整车调整水平, 在车载平台上安放非接触测量系统, 在经纬仪上安装一块平面反射镜, 调整平面反射镜, 使返回像落在测量系统 CCD 中心, 作为测量的起始位置, 并记录高低和方位起始值, 当经纬仪工作时, 记录非接触测量系统的高低和方位的变化量。测量时将 CCD 的外同步触发接口与光电经纬仪的时统接口连接起来, 由经纬仪向 CCD 发出时间脉冲信号, 保证测量系统与经纬仪时间上同步, 经纬仪以正弦引导方式工作, 引导速度为 $5 \sim 60^\circ/\text{s}$, 其转动速度和加速度都随时间变化, 可实时测得车载平台变形的大量数据。

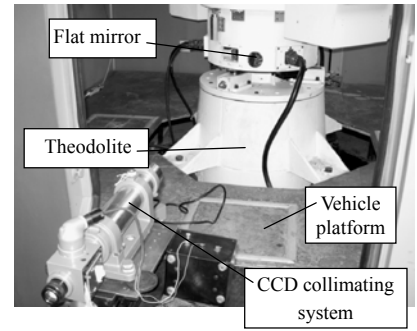


图 4 实验装置

Fig.4 Photo of experimental equipment

4 数据处理

实验得出车载平台变形的大量数据后, 采用最小二乘法对数据进行处理, 找出车载平台变形量与经纬仪速度和加速度之间的关系。由于测量系统与经纬仪时间上同步, 经纬仪以正弦引导方式工作, 位移随时间以正弦规律变化, 速度曲线也为正弦曲线, 但滞后半个周期; 同样加速度曲线也为正弦曲线, 又滞后半个周期。经纬仪的位移由经纬仪的轴角编码器给出, 经过计算可获得经纬仪的速度和加速度, 并对计算得到的数据进行数据平滑, 得出经纬仪的速度与加速度随时间变化的曲线。利用 Matlab 软件对大量变形数据进行处理, 图 5 是经纬仪在以 $60^\circ/\text{s}$ 的速度引导时一个周期内的曲线。由图 6 的实验曲线可知, 车载平台

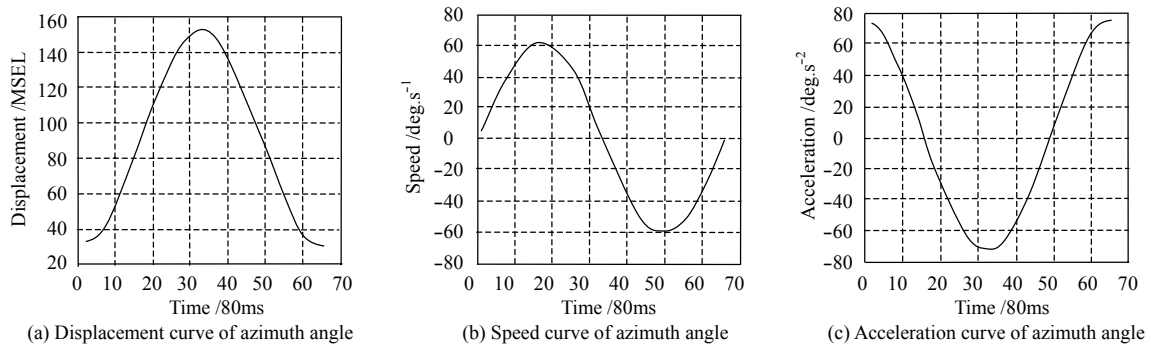


图 5 经纬仪 $60^\circ/\text{s}$ 引导曲线

Fig.5 Curves of theodolite working at $60^\circ/\text{s}$

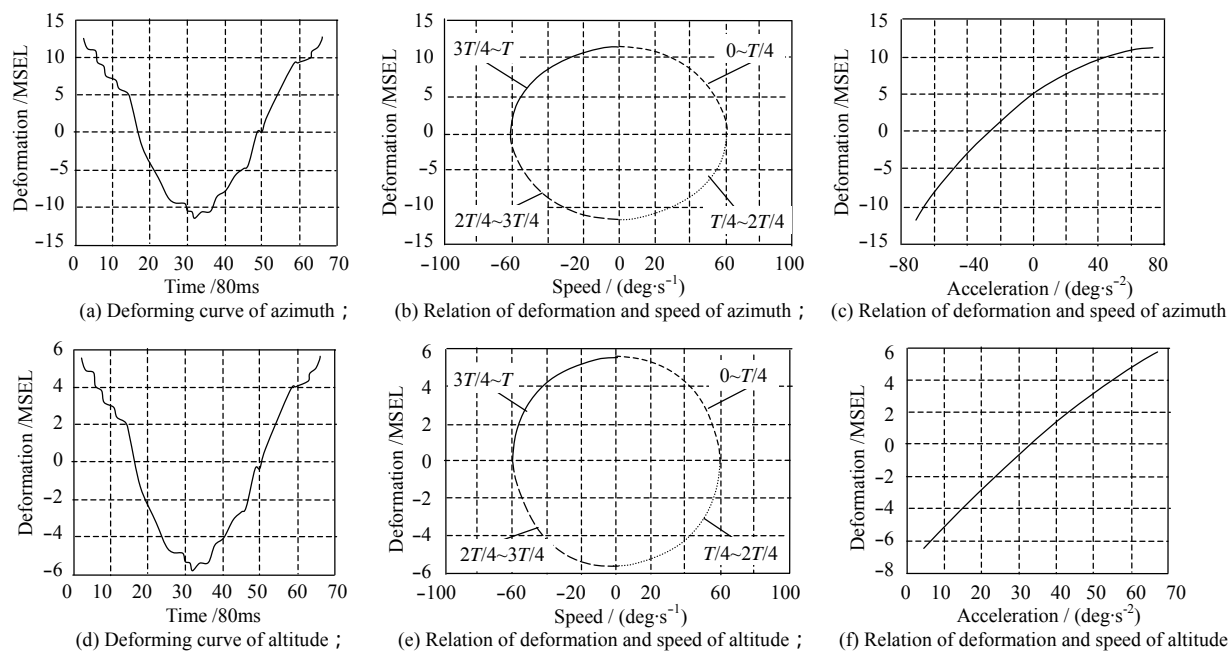


图 6 实验曲线

Fig.6 Experiment result

的变形随速度和加速度呈周期性变化, 周期为 T , 变形量在速度最小、加速度最大时达到最大值, 以 $60^\circ/\text{s}$ 速度引导时, 经纬仪工作速度在 $-60^\circ \sim 60^\circ/\text{s}$ 之间以正弦规律变化, 方位最大变形为 $12.57''$, 高低最大变形为 $5.98''$, 变形曲线的趋势与加速度曲线的趋势相同, 可见加速度对变形的影响较大, 这与工程实际相符。

5 结 论

设计的系统应用到某型号的经纬仪上, 得到了经纬仪转到某一位置时车载平台的变形量。对经纬仪工作时车载平台变形量进行的实时测量表明: 经纬仪以 $5 \sim 60^\circ/\text{s}$ 速度正弦引导方式工作时, 引导速度增大, 变形量也随着增大; 方位单项引导时变形较大, 高低单项引导时变形很小, 所以方位速度和加速度是影响变形大小的主要因素; 当经纬仪启动、转向、停车时变形量较大, 可达到 $20''$ 以上, 这对经纬仪的跟踪精度会产生很大影响。因此, 可通过加强车载平台的刚度等措施减小因变形带来的不利影响。

参考文献:

- [1] 张尧禹, 张明慧, 乔彦峰. 一种高精度 CCD 激光自准直测量系统研究[J]. 光电子激光, 2003, 14(2): 168-170.
ZHANG Yao-yu, ZHANG Ming-hui, QIAO Yan-feng. Research of a CCD laser collimation system with high precision[J]. *Journal of Optoelectronics. laser*, 2003, 14(2): 168-170.
- [2] 王庆有, 孙学珠. CCD 应用技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 1993. 58-70.
WANG Qing-you, SUN Xue-zhu. *CCD Applying Technology* [M]. Tianjin: Tianjin University Press, 1993. 58-70.
- [3] 李永远, 杨世洪, 蓝荣清, 等. CCD 应用中的高速图像数据采集技术[J]. 光电工程, 1994, 21(1): 40-46.
LI Yong-yuan, YANG Shi-hong, LAN Rong-qing, et al. High-speed image data acquisition techniques in charge coupled device application[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1994, 21(1): 40-46.
- [4] 王永仲, 琚新军, 胡 心. 智能光电系统[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 73-75.
WANG Yong-zhong, JU Xin-jun, HU Xin. *Intelligent Photoelectricity System* [M]. Beijing: Science Press, 1999. 73-75.
- [5] 张明慧, 张尧禹. 视频图像判读技术在实时测量系统中的应用[J]. 测控技术, 2004, 23(5): 38-40.
ZHANG Ming-hui, ZHANG Yao-yu. Application of video judging technology in the real-time measurement system [J]. *Measurement & Control Technology*, 2004, 23(5): 38-40.