

· 光电工程系统技术 ·

反射式探测系统中数字消像旋的简易方法

杨 锐¹, 万 敏¹, 李正东¹, 葛成良¹, 路大举¹, 李世平², 邹 凯¹

(1. 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900; 2. 四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘 要:当探测器置于旋转平台下方时,由于平台的旋转,在探测器像面上接收到的像将按一定规律作旋转运动.根据系统基本结构,分析了成像系统的光学传输成像模型,提出了数字消像旋的简易方法,对图像处理系统的实际输出结果进行处理,而不需要采用光学消像旋和电子图像消像旋等方法,提高了系统探测处理的实时性,降低了系统设计的难度,具有较强的实用性.

关键词:像旋;小目标;脱靶量

中图分类号: TN215

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)04-0013-03

One handy Method to Offset Image Rotation in Reflecting Detecting System

YANG Rui¹, Wan Min¹, LI Zheng-do¹, Ge Cheng-liang¹, LU Da-ju¹, Li Shi-ping², Zou Kai¹

(1. Institute of Applied Electronics, CAEP, Mian Yang 621900, China;

2. Sichuan Electric Power Corporation, Cheng Du 610041, China)

Abstract: The image received on the image surface of detector will rotate regularly with the platform rotation. Based on the system's basic frame, the optical transfer model was analyzed and one handy method was suggested to offset the image rotation. This method makes use of the actual result of the image processor and needn't use optical way or electronic way to offset image rotation. This mathematic method is very easy, increases the system processing speed and reduces the system's complexity. It is practicability.

Key words: image rotation; small target; off-target

在光电跟踪系统中,一般需把目标保持在探测器的视场中心,当目标视轴与探测视轴之间出现偏差时,目标在成像探测器上的位置就会偏离中心位置,实际成像位置与中心位置的偏差值用像素值表示出来,体现为成像探测器的脱靶量,在控制学上,成像探测器的脱靶量就是跟踪系统的误差控制信号.

当探测成像器件位于旋转平台下方,不参与平台旋转时,由于平台的旋转将导致成像器件接收到的图像按照一定的规律进行旋转,在不同的平台旋转位置,图像处理系统直接输出的相同脱靶量信息并不能代表相同的矫正误差量.要获得实际的误差

量信息,必须对成像器件的实际脱靶量数据进行消像旋处理,实现旋转补偿.目前,成像旋转平台主要有光学消像旋、电子图像消像旋等多种方法.光学消像旋计算速度快,但是系统体积大,增加功耗,造成信噪比下降,对于类似于 K 镜消像旋的系统,要求扫描镜与消像旋镜的驱动角度精确配准;电子消像旋可以从电子学上进行整体图像的旋转,降低了系统研制的难度,但是,由于电子消像旋是对整体图像进行处理,导致了时间延迟性增加,提高了对图像处理系统的性能要求.在点目标探测系统中,不需要进行图像识别,只需要保证系统稳定跟踪即可,采用光学消像旋和电子消像旋不仅增加了系统设计难度,而且

收稿日期:2009-05-05

基金项目:国家电网公司科技项目资助(SGKJJSKF[2008]467)

作者简介:杨锐(1977-),男,四川遂宁人,硕士,主要研究方向为光学工程.

增加了系统的延时,降低了探测的实时性.

提出了一种利用原始脱靶量信息和平台旋转位置信息,采用数学计算进行旋转补偿的方法,利用该方法可以获得目标真正的脱靶量信息,从而实现对小目标的稳定跟踪控制.

1 反射式跟踪探测系统描述

系统旋转平台的传输光路如图 1 所示.

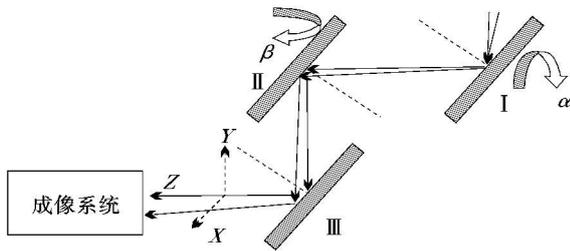


图 1 反射式跟踪探测系统结构示意图

该系统采用 3 面全反镜进行成像传输,其中镜 I 作俯仰旋转,镜 I, II 一起做方位旋转,通过这 2 面镜子的旋转可以实现空间的扫描运动.镜 III 固定.目标成像光通量通过 3 面镜子的传输到达探测器的成像镜头,并经成像镜头成像在焦平面上.

2 转台光路传输模型

假设入射光沿 \vec{A} 方向入射到镜面 I 上,那么在参考坐标系 (XYZ) 中,入射光方向为 (x', y', z') ,经镜面 I 的反射光出射方向为

$$\vec{A}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \vec{A} \quad (1)$$

当镜面 I 旋转角度 α 后,入射光 \vec{A} 保持与镜面正入射方向的相对位置不变,那么反射光的方向变为

$$\vec{A}'_1 = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \vec{A}_1 \quad (2)$$

入射光沿入射方向入射到第二面反射镜上,经第二面镜子反射的出射光方向矢量变为

$$\vec{A}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \vec{A}'_1 \quad (3)$$

当第二面镜子的旋转角度为 β 时,经第二面镜

子反射的出射光方向矢量变为

$$\vec{A}'_2 = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \vec{A}_2 \quad (4)$$

第三面镜子对入射光的反射作用在参考坐标系上为

$$\vec{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \vec{A}'_2 \quad (5)$$

综上所述,3 面镜子对入射光的作用可以用如下表达式表示

$$\vec{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \vec{A}$$

经矩阵计算可以获得.如果运动轴进行了旋转,那么

$$\vec{A}_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos(\alpha + \beta) & 0 & -\sin(\alpha + \beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha + \beta) & 0 & \cos(\alpha + \beta) \end{bmatrix} \vec{A} = \mathbf{QPA} \quad (6)$$

其中

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha + \beta) & 0 & -\sin(\alpha + \beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\alpha + \beta) & 0 & \cos(\alpha + \beta) \end{bmatrix}$$

由传输矩阵式(6)可以知道,当入射光相对正入射方向没有发生方向改变时,由于转台的旋转运动,出射光的方向已经发生了改变,相当于从第二面镜子出射的光线已经与未旋转前发生了相对 Y 轴的 $(\alpha + \beta)$ 的角度旋转,经过第三面反射镜和成像透镜在接收 CCD 的焦平面上就产生了与 $(\alpha + \beta)$ 相关的旋转变量.

3 脱靶量补偿

经过转台传输光路后的出射光,经过光学成像镜头成像在焦平面上.当转台对目标进行跟踪时,焦平面阵列输出的脱靶量信息,必须经过校正转化,才能用于转台驱动的误差量信号.根据式(6)可以知道,从 CCD 输出的相同脱靶量信息在不同的转台位置表示的空间相对位置是不一样的,如果不进行脱靶量补偿就进行控制误差量计算,将不能有效产生校正信息,甚至会产生正反馈,导致跟踪系统迅速丢失目标.

假定在转台某一位置处,对应 CCD 图像上某点的输入光矢量为 U_0 ,旋转后对应该点的输入光矢量为 U_1 ,那么,可以知道

$$QPU_1 = QU_0$$

$$U_1 = P^{-1}U_0$$

假设 K 为成像镜头的成像传输矩阵, r_0 为 CCD 输出的脱靶量原始信息, J 为转台在某一位置处实验测定的误差量计算矩阵,那么可以有如下表达式

$$r_0 = KQU_0$$

$$U_0 = Q^{-1}K^{-1}r_0$$

从而可以知道旋转后对应该点脱靶量位置的实际入射光的方向矢量的对应关系为

$$U_1 = P^{-1}Q^{-1}K^{-1}r_0$$

实际控制误差量的计算,也就是对入射方向矢量为 U_1 的入射光进行校正.由于实际已知量只有 CCD 焦平面的脱靶量信息,如果对该脱靶量进行补偿,实际就是对新的脱靶量 $KQP^{-1}Q^{-1}K^{-1}r_0$ 进行校正,所以在该点处对运动控制系统的实际控制误差量信息为

$$E_1 = JKQP^{-1}Q^{-1}K^{-1}r_0$$

在实际测量误差量计算矩阵时,已经将成像镜头的焦距信息融入到计算矩阵中,所以计算 CCD 脱

靶量信息时,可以设定成像焦距为 1,当系统视场角较小时,从透镜到 CCD 的转换矩阵可以认为是 $K=1$,那么该新脱靶量为 $QP^{-1}Q^{-1}r_0$.

$$r = QP^{-1}Q^{-1}r_0 =$$

$$\begin{bmatrix} \cos(\alpha + \beta) & -\sin(\alpha + \beta) & 0 \\ \sin(\alpha + \beta) & \cos(\alpha + \beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} r_0 \quad (7)$$

当获得来自图像处理系统的原始脱靶量数据,利用式(7)对原始脱靶量进行旋转角补偿,获得新脱靶量数据,利用新脱靶量信息获取运动控制系统的控制误差量,才能保证系统的稳定跟踪.

4 结 论

根据式(7)将数字消旋方法应用于实际运行的小目标电视跟踪系统,对由图像处理系统直接输出的脱靶量进行简单的数学计算,就获得了实际的脱靶量信息,有效克服了由于像旋带来的误差量校正函数失效的现象,保证了该系统在不同位置都获得了稳定的跟踪性能.

对于反射式小目标成像跟踪系统而言,不存在目标识别,仅需要进行稳定跟踪,采用数字消像旋这种简单的数学计算方法,就可以实现同光学和电子图像消像旋相同的功能,而不需要附加光学消像旋和电子图像消像旋等方法,提高了系统探测处理的实时性,降低了系统设计难度,在小目标探测系统中具有较强的实用性.

参考文献

- [1] 张平静.二维扫描成像系统中消像旋的电子学方法[J],红外,2003(1):7-9.
- [2] 张镔.“海洋一号”卫星 10 通道水色扫描仪光学系统的设计[J],光学与光电技术,2004,2(4):21-22.
- [3] 张镔,龚惠兴.消除 45° 旋转扫描反射镜像旋系统的研究及应用[J],红外与毫米波学报,1999(2).

欢迎 订 阅 欢 迎 投 稿