

文章编号 1004-924X(2011)07-1580-08

机载立体测绘相机滚转轴伺服系统的辨识与设计

董岩^{1,2,*}, 张涛¹, 李文明¹, 李清军¹, 贾继强¹, 陈浞惠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)

摘要: 从时域和频域两方面研究了机载立体测绘相机三轴稳定平台中旋转行程较小的滚转轴伺服系统的辨识与设计问题。在时域方面提出了一种基于遗传算法的辨识方法, 讨论了遗传算法的原理与设计; 在频域方面提出了一种根据闭环频率特性测量数据求取系统开环频率特性的方法, 解决了滚转轴伺服系统由于旋转行程狭小而引起的开环频率特性难以直接测量的困难。根据辨识出的传递函数进行校正后, 控制系统满足设计要求。实验结果证明, 与传统方法相比, 本文使用的方法在测量条件较为苛刻, 行程范围较小, 噪声较大时, 辨识结果仍然可以较好地描述系统特性。校正后控制系统的闭环带宽可以达到 121 rad/s, 稳定裕度为 60°, 满足工程要求。

关键词: 机载测绘相机; 滚转轴伺服系统; 系统辨识; 遗传算法; 相关测量法

中图分类号: V248.3; TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111907.1580

Identification and design of roll axis servo system in airborne solid mapping camera

DONG Yan^{1,2,*}, ZHANG Tao¹, LI Wen-ming¹, LI Qing-jun¹, JIA Ji-qiang¹, CHEN Xi-hui¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China;

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

** Corresponding author, E-mail: dongyan-personal@163.com*

Abstract: The identification and design of the roll axis servo system with a small journey range in an airborne three-axis gyro body-stabilized platform were discussed and researched by time domain and frequency domain methods. The identification method based on the genetic algorithm was presented by the time domain method and the genetic algorithm was also discussed. Moreover, the opened-loop frequency characteristics of the system were obtained according to the closed-loop frequency characteristic measuring data by the frequency domain method. These methods resolve the difficulty of roll axis servo systems with small journey range in directly measuring opened-loop frequency characteristics. On the basis of the transfer function identified, the control system corrected can meet expected indicators. Experimental results prove that the identification can nicely describe characteristics of the proposed system even in big noises, shorter journey ranges and poor measuring conditions. The closed-

收稿日期: 2010-07-30; 修订日期: 2010-10-27.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2007AA12C113)

loop bandwidth of control system is 121 rad/s and the stability margin is 60° after correcting, which can meet the indicators of an engineer.

Key words: airborne mapping camera; roll axis servo system; genetic algorithm; correlation measurement method; system identification

1 引言

在机载立体测绘相机光电测量系统中,三轴稳定平台是测绘相机的载体,用于保证相机工作时的视轴稳定,其控制精度直接影响航空相机的成像质量。三轴稳定平台有3个稳定轴(航向、俯仰、滚转),相对载体有3个自由度,可保证平台不受载体姿态角运动的影响而稳定在惯性空间,为平台上装载的仪表提供良好的工作条件。三轴稳定平台采用3只单自由度陀螺分别完成航向、俯仰、滚动3个轴的角速率测量,可保证陀螺的敏感轴方向与各自转轴方向平行。

稳定平台结构由下面几部分组成:框架、平台台体、陀螺仪、感应同步器和力矩电机。当有外力矩作用在平台系统上时,框架将带动台体一起转动,使台体产生一相对于惯性坐标系的角速度,安装在台体上的陀螺仪敏感到这一角速度,经过校正放大后加到力矩电机上形成闭环回路。目标跟踪拍摄时,根据相机成像系统给出的目标脱靶量,以感应同步器作为位置反馈传感器进行目标的伺服跟踪控制。其中,航向轴支撑着俯仰轴,俯仰轴又支撑着安装光学系统的滚转轴。U型架(亦称转塔)的机械设计决定了在运动过程中滚转轴的旋转行程范围只有 $\pm 15^\circ$ 。由于伺服系统的开环频率特性中低频段的增益较高,这样狭小的行程范围决定了这种伺服系统无法通过直接测量系统的开环频率特性来得到系统的传递函数。

近年来,国内外提出了很多基于智能控制的系统辨识算法,如人工神经网络辨识^[1]和遗传算法辨识^[2-3]等。人工神经网络由于具有自组织,自学习的特点,在系统辨识等智能控制领域得到了广泛应用,但由于其网络层数和每一层的神经元数均需设计完成,因此,常常适用于结构和参数未

知的系统辨识中。而本文讨论的机载测绘相机滚转轴伺服系统结构已知,只需辨识参数的模型,所以遗传算法无疑具有更多的优势。由于人工神经网络只能局部寻优,因此常常陷入到系统的局部最优陷阱中去;而遗传算法是在解空间内进行高效启发式搜索,是一种并行随机搜索最优化方法,找到的一定是全局最优解^[4-6]。

滚转轴伺服系统虽然不能直接得到开环频率特性,但是在闭环校正之后,仍然可以得到系统的闭环频率特性。因此,本文提出了一种先测量闭环频率特性,然后再根据闭环频率特性求取开环频率特性的方法^[7],通过分析和检验伺服系统的辨识和校正结果,有效地解决了上述问题,具有较高的工程实用价值。

2 基于遗传算法的系统辨识

2.1 遗传算法基本原理及特点

遗传算法(Genetic Algorithms, GA)是1962年由美国Michigan大学Holland教授提出的模拟自然界遗传机制和生物进化论的一种并行随机搜索最优化方法。遗传算法将达尔文的自然选择学说中的“适者生存”的生物进化学原理引入优化参数形成的编码串联群体中,按所选择的适配值函数并通过遗传中的复制、交叉及变异对个体进行筛选,保留适配值高的个体,组成新的群体,新的群体既继承了上一代的信息,又优于上一代。

遗传算法与传统的寻优算法相比,有着诸多无可比拟的优势。传统的优化算法往往从解空间的一个初始点开始最优解的迭代搜索过程,搜索效率不高,有时甚至局限于局部最优解而停滞不前。遗传算法是从很多个体组成的一个初始群体开始最优解的搜索过程,这是遗传算法所特有的一种隐含并行性,因此搜索效率较高。传统的优

化算法不仅需要利用目标函数值,而且需要目标函数的导数值等辅助信息才能确定搜索方向;而遗传算法对于待寻优的函数基本无限制,它既不要求函数连续,也不要求函数可微,既可以是数学解析式所表达的显函数,也可以是映射矩阵甚至是神经网络的隐函数,因而应用范围较广。遗传算法在解空间进行高效启发式搜索,而非盲目地穷举或完全随机搜索。理论已经证明,遗传算法在一定条件下以概率 1 收敛于问题的最优解。

2.2 伺服系统的模型参数分析

机载立体测绘相机滚转轴控制系统的速度环系统设计,通常将控制对象的传递函数定义为一个二阶系统:

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s+1)(T_2s+1)}, \quad (1)$$

在这个传递函数中, T_1, T_2, K 是需要辨识的 3 个参数。由式(1)得:

$$G(s) = \frac{r}{s+1/T_1} + \frac{-r}{s+1/T_2}, \quad (2)$$

式中: $r = \frac{KT_1T_2}{T_1 - T_2}$, 做 Z 变换离散化得:

$$G(z) = \frac{r}{1+t_1z^{-1}} + \frac{-r}{1+t_2z^{-1}} = \frac{b_1z^{-1}}{1-a_1z^{-1}-a_1z^{-2}}, \quad (3)$$

式中: $t_1 = e^{T_s/T_1}, t_2 = e^{T_s/T_2}, b = r(t_2 - t_1), a_1 = -(t_1 + t_2), a_2 = -t_1t_2, T_s$ 为采样时间。

由此得到系统的差分方程模型:

$$y(k) = b_1x(k-1) + a_1y(k-1) + a_2y(k-2). \quad (4)$$

由式(4)可见,系统的本次输出完全取决于系统的上一次输入和上两次输出,并由此可以得到遗传算法的待辨识参数 b_1, a_1, a_2 。

2.3 遗传算法的设计与实现

在神经网络等某些寻优算法中,待辨识参数的初值选取至关重要,而遗传算法则不需要确定初值,但对参数范围的选取要求很高。在满足设计要求的前提下,参数的范围应尽可能小。由于在遗传算法中每个变量都是由一个二进制编码来表示,一般在保证精度的前提下,二进制编码的位数越少越好。当选择 10 位编码时,每一个变量就分别对应于 0000000000(0)~1111111111(1023)的二进制编

码,分别将这 3 个 10 位长的二进制编码串连接在一起,组成一个 30 位长的二进制编码 x ,就构成了这个函数优化问题的染色体编码方法。使用这种方法,解空间和遗传算法的搜索空间就具有了一一对应的关系。

设 $X(k)$ 为一个标准的阶跃输入,带入式(4)得到模型的阶跃响应 $Y_m(k)$,同时可以对机载立体测绘相机滚转轴伺服系统测试得到一个转台的阶跃响应 $Y(k)$ 作为模型的期望输出,即需要找到恰当的参数 a_1, a_2, b_1 ,使得模型的输出与转台的实际输出尽可能的小,由此确定目标函数

$$J(x) = E_{\text{rms}} = \frac{1}{k} \sqrt{\sum_{j=1}^k (Y(j) - Y_m(j))^2}, \quad (5)$$

确定适应度函数

$$F(x) = \frac{1}{J(x)}. \quad (6)$$

然后确定遗传算法的其他参数,群体大小 $M = 80$ (在规定的范围内取 80 个随机的初值),中止进化代数 $G = 100$,交叉概率 $P_c = 0.6$,变异概率 $P_m = 0.1$ 。

遗传算法工作的基本操作为复制(Reproduction operator),交叉(Crossover operator)和变异(Mutation operator)。

复制是从一个旧种群中选择生命力强的个体编码产生新种群的过程,根据遍码的适应度进行复制,也就是说具有高适应度的编码更有可能在下一代中得到遗传。本文根据 80 个编码,得到 80 个模型的阶跃响应,分别与实际转台的阶跃响应求得均方根归一化误差 E_{rms} ,即为目标函数,取其倒数为适应度。然后根据适应度排序,排在前列,适应度较高的编码会以较高的概率得到复制,同理适应度较低的编码得到复制的概率也较低,在一定阈值之后的编码不会得到复制。

复制操作能从旧的种群中选择出优秀者,但不能创造新的染色体。而交叉模拟了生物进化过程中的繁殖现象,通过两个染色体的交换组合来产生新的优良品种。本文选定的交叉概率为 0.6,即每个得到复制的编码都有 0.6 的概率与其相邻的编码的随机位进行交叉运算。

变异运算用来模拟生物在自然的遗传环境中

由于各种偶然因素引起的基因突变,它以很小的概率随机的改变基因。本文中的变异概率为0.1,即每一个复制,交叉后的编码中的某一位会以0.1的概率变异。变异运算的操作虽然简单,但它在遗传算法中的意义非常重要。若只有选择和交叉,没有变异,则无法在初始基因组合以外的空间进行搜索,使进化过程在早期就陷入局部解而进入中止过程,从而影响解的质量。

在遗传算法中每一次择优复制,交叉,变异的过程即为一代,经历了无数代的生存选择,优胜劣汰之后,排在适应度前列的最具有生命力的编码即为所求的最优解。

然而,由于随机噪声和非线性的不均匀摩擦力矩的扰动,试验中每次的阶跃响应都不尽相同。为了使算法尽可能地排除掉噪声和摩擦力矩的干扰,得到系统的本质规律,应该把尽可能多的 n 次阶跃响应作为遗传算法的期望输出。在对机载立体测绘相机滚转轴伺服系统的实验中发现,当 $n \geq 3$ 时,就可以得到较为理想的结果。因此,可以把几次滚转轴伺服系统的阶跃响应拟合在一起(如图1所示),作为系统的期望输出。

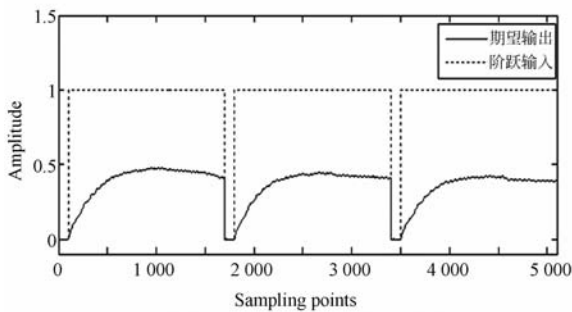


图1 阶跃输入与期望输出

Fig.1 Step input and expected output

2.4 实验结果与结论

将设置好的相关参数与实验数据输入遗传算法程序,即可得到如下的目标函数收敛曲线;在网络最终收敛时得到3个同时收敛的权值。

由式(3)得:

$$G(z) = \frac{0.00128z^{-1}}{1 - 1.351z^{-1} + 0.354z^{-2}}, \quad (7)$$

由于采样周期为 0.00125 s,因此对式(7)做拉氏

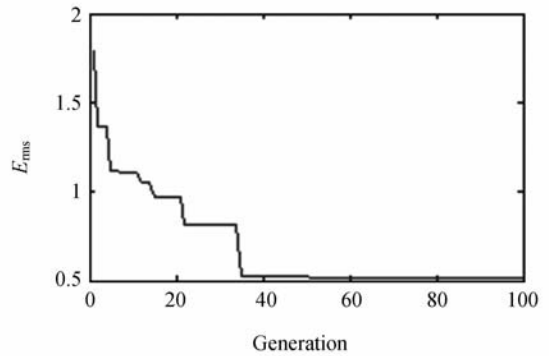


图2 目标函数收敛曲线

Fig.2 Convergence curve of object function

变换得:

$$G(s) = \frac{0.4268}{(0.2679s+1)(0.0012s+1)}, \quad (8)$$

式(8)即为所辨识出的传递函数。在 matlab 下做式(8)的仿真阶跃响应,并与机载立体测绘相机滚转轴伺服系统的阶跃响应相比较(如图3所示),得到的辨识结果与平台的实际输出基本吻合。

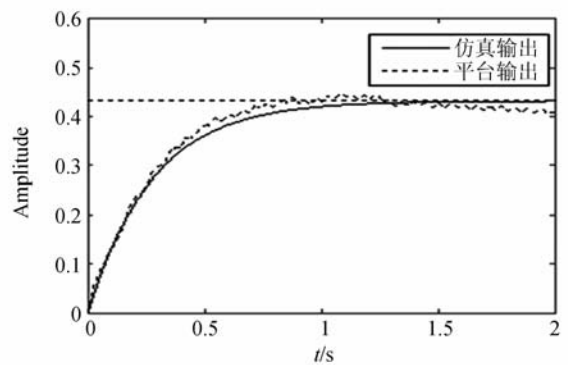


图3 辨识结果的阶跃响应与被辨识系统的阶跃响应的比较

Fig.3 Comparison of step response data between platform and simulation results

3 伺服系统校正与频域特性分析

3.1 滚转轴伺服系统的校正

根据遗传算法辨识出的系统的传递函数,结合立体测绘相机对三轴稳定平台滚转轴控制系统的要求,做二阶超前滞后校正:

$$G_1(s) = \frac{308.5(0.027s+1)(0.0012s+1)}{(1.6s+1)(0.0046s+1)}. \quad (9)$$

一个控制系统做出校正设计后能否满足设计

指标,只能在实验中分析和验证,尤其应该在频域中分析和设计。立体测绘相机由于机械结构上的局限,不能直接测量系统的开环频率特性,但是可以在校正之后测得系统的闭环频域特性,然后再根据适当的方法变换得到系统的开环频域特性。

3.2 系统闭环频率特性的测量

测试机载稳定平台系统的闭环频率特性时,由于信号中含有各种噪声,往往难以直接测量。尤其是在高频部分,系统输出的频率特性周期很短,一个完整周期可能只有十几个采样点甚至几个采样点组成。相位差读取的很小误差就可能导导致测得的相频特性失真较大。因此,介绍一种能够有效抑制噪声的相关测量法^[8-10]。

设系统的正弦输入信号为 $\sin(\omega t)$,则系统的频率特性输出为 $H\sin(\omega t + \phi)$ 。

$$A = \int_0^T H\sin(\omega t + \phi)\sin(\omega t) dt = \int_0^T (H[\cos\phi - \cos(2\omega t + \phi)]/2) dt \quad (10)$$

由于在一个周期内谐波相的周期为零,输出只留下常数项,取适当比例后可以认为 A 就是系统的实频特性 A ,

$$A = H\cos\phi \quad (11)$$

同理,系统输出 $H\sin(\omega t + \phi)$ 与 $\cos(\omega t)$ 相乘后取积分,得到的是系统的虚频特性 B ,

$$B = H\sin\phi \quad (12)$$

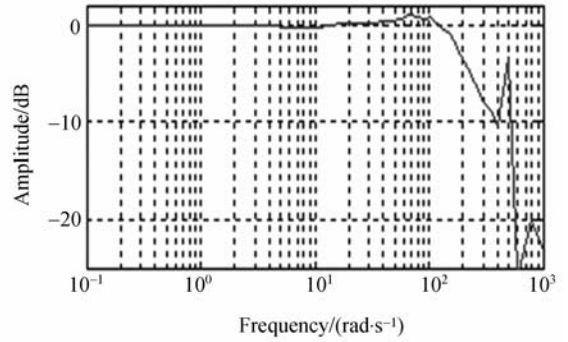
在以 DSP 处理器为核心的离散伺服控制系统中,测得的频率特性为离散值: $H\sin(\omega nT_s + \phi)$ 。因此,由离散化后的相关测试法得到系统的频率特性:

$$A = \left(\sum_{n=1}^T H\sin(\omega nT_s + \phi)\sin(\omega nT_s) \right) / (T/2) \quad (13)$$

$$B = \left(\sum_{n=1}^T H\sin(\omega nT_s + \phi)\cos(\omega nT_s) \right) / (T/2) \quad (14)$$

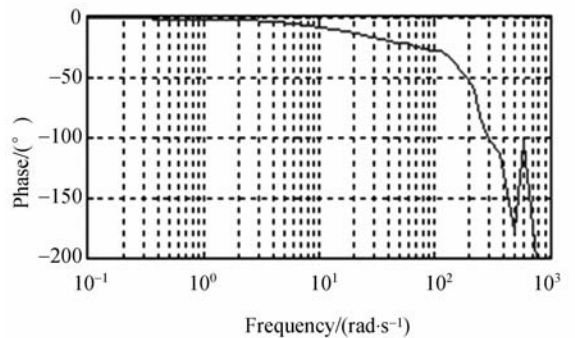
式中: $\sin(\omega nT_s)$ 和 $\cos(\omega nT_s)$ 为标准三角函数,由 DSP 程序产生; T_s 为系统采样周期, T 一定要是系统正弦输入的周期的整数倍,在测试中改变 T 的值,能更有效的抑制谐波。

对立体测绘相机三轴稳定平台滚转轴伺服系统校正后,测得转台的闭环频率特性曲线如图 4 所示。



(a) 闭环幅频特性曲线

(a) Closed-loop amplitude frequency characteristic curve



(b) 闭环相频特性曲线

(b) Closed-loop phase frequency characteristic curve

图 4 校正后的闭环频率特性曲线

Fig. 4 Closed-loop frequency characteristic curves after correction

3.3 基于闭环频率特性的开环频率特性分析

系统的闭环频率特性: $G_c(j\omega) = \frac{G(j\omega)}{1+G(j\omega)}$.

由此得到系统开环频率特性:

$$G(j\omega) = \frac{G_c(j\omega)}{1-G_c(j\omega)} \quad (15)$$

设系统闭环频率特性

$G_c(j\omega) = H\cos\phi + jH\sin\phi = A_c + jB_c$, 由式(15)得:

$$G(j\omega) = \frac{A_c - (A_c^2 + B_c^2) + B_c j}{1 - 2A_c + A_c^2 + B_c^2} \quad (16)$$

由式(16)得到开环频率特性的实频特性 A 和虚频特性 B :

$$A = \frac{A_c - (A_c^2 + B_c^2)}{1 - 2A_c + A_c^2 + B_c^2} \quad (17)$$

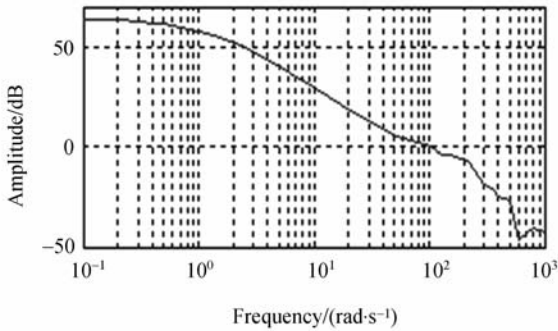
$$B = \frac{B_c}{1 - 2A_c + A_c^2 + B_c^2} \cdot \quad (18)$$

于是得到系统的开环幅频特性 H 和相频特性 ϕ :

$$H = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad (19)$$

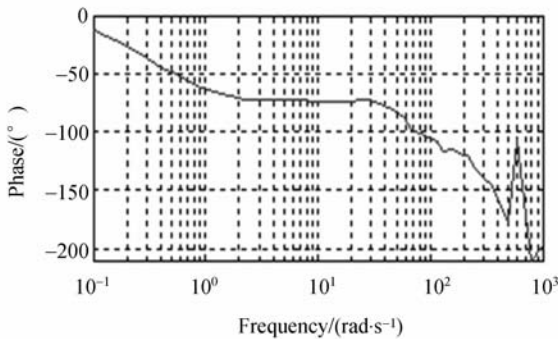
$$\phi = \tan^{-1}(B/A). \quad (20)$$

因此,根据对滚转轴控制系统校正后测得的闭环特性曲线,可以很容易地得到开环特性频率曲线,如图 5 所示:



(a) 开环幅频特性曲线

(a) Opened-loop amplitude frequency characteristic curve



(b) 开环相频特性曲线

(b) Opened-loop phase frequency characteristic curve

图 5 由闭环频率特性数据求得的开环频率曲线

Fig. 5 Opened-loop frequency characteristic curve obtained from closed-loop frequency characteristic data

根据 2.4 节中利用遗传算法辨识出的传递函数和 3.1 节设计的校正环节式(9)分析,系统在 $1 \sim 1000 \text{ rad/s}$ 频率处应存在 4 个转折频: $\omega_1 = 0.625 \text{ rad/s}$, $\omega_2 = 3.73 \text{ rad/s}$, $\omega_3 = 37 \text{ rad/s}$, $\omega_4 = 217 \text{ rad/s}$ 。在图 5 中可以看到在上述 4 个频率点处频率特性曲线的转折变换,与辨识结果和校正设计基本吻合。由此可知,频域法可以验证时域法应用遗传算法得到的系统模型参数辨识结果。用闭环频率特性求取开环频率特性曲线的一个重要意义在于可以通过曲线来检验系统校正情况。

4 结论

本文根据机载测绘相机三轴稳定平台中的滚转轴伺服系统所特有的不能直接获得开环频率特性的困难与设计的要求,提出了一种基于遗传算法的时域系统辨识法。详细介绍了遗传算法的设计,然后给出了实验结果。整个遗传算法设计、工作的过程表明这种基于遗传算法的时域辨识方法可以不依赖于系统的噪声模型,有效地进行辨识工作。并且以滚转轴陀螺稳定速度环的二阶系统为例,对该算进行了验证。实际上,由于遗传算法可以有任意多的参数参与编码,因此只要提前确定系统模型的阶数,同样可以对高阶系统进行辨识。同时在对控制系统做出校正之后,本文针对滚转轴伺服系统不能直接获得开环频率特性的困难,提出了一种基于相关测试法的测量系统的闭环频率特性再转为开环频率特性的方法,作为滚转轴控制系统在频域内的分析与设计重要依据。实验结果证明:本文提出的方法在噪声较大,干扰严重的前提下,仍然可以有效辨识出系统的模型,据此做出的校正设计可以使机载立体测绘相机的三轴稳定平台滚转轴控制系统的闭环带宽达到 121 rad/s ,系统的稳定裕度达到 60° 左右,满足滚转轴伺服系统的设计要求。

参考文献:

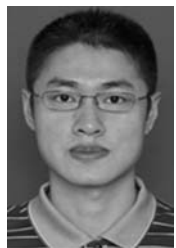
[1] 沈斌武,王志乾,刘畅,等. BP 神经网络在多位置捷

联寻北系统中的应用[J]. 光学 精密工程, 2009, 17 (8): 1890-1895.

SHEN CH W, WANG ZH Q, LIU CH, et al.. Application of BP neural net work to multi-position

- strap-down north seeking system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(8):1890-1895. (in Chinese)
- [2] 焦竹青, 屈百达, 徐保国. 基于遗传算法的直流伺服电机的摩擦补偿[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(s2):1875-1879.
JIAO ZH Q, QU B D, XU B G. DC servomotor friction compensation using a genetic algorithm [J]. *J. Tsinghua Univ. (Sci. & Tech.)*, 2007, 47(s2):1875-1879. (in Chinese)
- [3] 刘红, 高伟. 基于遗传算法的摩擦模型参数辨识[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(15):3737-3739.
LIU H, GAO W. Parameter identification of friction model with generic algorithms [J]. *Science Technology and Engineering*, 2007, 7(15):3737-3739. (in Chinese)
- [4] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
LIU J K. *Intelligence Control* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009. (in Chinese)
- [5] 黎明, 李军华. 噪声环境下遗传算法的性能评价[J]. 电子学报, 2010, 38(9):2090-2094.
LI M, LI J H. Performance evaluation of genetic algorithm in noisy environments[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, 38(9):2090-2094. (in Chinese)
- [6] 刘姝廷, 金太东, 王连生. 一种改进的自适应遗传算法[J]. 江西理工大学学报, 2010, 31(2):59-61.
LIU SH T, JIN T D, WANG L SH. An improved adaptive genetic algorithm [J]. *Journal of Jiangxi University of Science and Technology*, 2010, 31(2):59-61. (in Chinese)
- [7] 范荣, 路林吉. 一种由闭环频率特性求开环频率特性的方法[J]. 自动化与仪表, 1993, 8(4):26-27.
FAN R, LU L J. A method to derive open-loop frequency response from close-loop frequency response [J]. *Automation and Instrumentation*, 1993, 8(4):26-27. (in Chinese)
- [8] 章家保, 刘慧, 贾宏光, 等. 电动舵机伺服系统的模型辨识及其校正[J]. 光学精密工程, 2008, 16(10):1971-1976.
ZHANG J B, LIU H, JIA H G, et al.. Model identification and corrector design for servo system of electromechanical actuator [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10):1971-1976. (in Chinese)
- [9] 王帅, 陈涛, 李洪文, 等. 光电跟踪伺服系统的频率特性测试与模型辨识 [J]. 光学精密工程, 2009, 17(1):78-84.
WANG SH, CHEN T, LI H W, et al.. Frequency characteristic test and model identification for O-E tracking servo system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1):78-84. (in Chinese)
- [10] 王广雄, 何朕. 控制系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
WANG G X, HE L. *Control System Design* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009. (in Chinese)

作者简介:



董岩(1978—),男,吉林长春人,博士研究生,主要从事航空相机伺服系统设计方面的研究。E-mail: dongyan-personal@163.com



李文明(1978—),男,吉林长春人,助理研究员,2002年于吉林大学获学士学位,主要从事航空测绘相机方面的研究。E-mail: snow_79@163.com



李清军(1966—),男,吉林长春人,博士,研究员,硕士生导师,1990年于吉林工业大学获学士学位,主要从事机载设备稳定跟踪测量技术的研究。E-mail: liqj_ciom@tom.com



贾继强(1966—),男,吉林长春人,研究员,硕士生导师,1987年于吉林工学院获学士学位,主要从事测绘相机及相机稳定技术方面的研究。E-mail: jia-jiqiang@sohu.com



陈浞惠(1961—),女,吉林长春人,高级工程师,1989年于长春光学精密机械学院获学士学位,主要从事电源技术方面研究。

导师简介:



张涛(1964—),男,吉林长春人,研究员,博士生导师,主要从事航空相机稳定技术的研究。E-mail: zhangT@ciomp.ac.cn

●下期预告

机器人柔性电子检具测量系统

郝继贵,郭磊,刘常杰,林嘉睿,叶声华

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室,天津 300072)

针对工业生产中普遍使用的专用实物检具成本高、柔性差、自动化程度低的缺点,提出一种工业机器人柔性电子检具测量系统。以工业机器人为柔性自动化平台,将视觉传感器固定于机器人末端工具,利用机器人示教功能规划测量路径,通过全局标定技术将局部测量结果统一到全局坐标系中。针对测量过程中影响系统整体精度的机器人重复定位误差,采用光学精密测量方法,将另一相机作为控制相机,利用摄影测量技术结合固定于支撑部件上的全局控制点来测量机器人重复定位误差,实时补偿整体测量结果。将测量数据与CAD数模比对,构造虚拟柔性电子检具功能。实验表明:系统测量14个空间点的三维总体均方根误差为0.101 mm。实验结果说明提出的方法原理正确,能够克服实物检具费用高、人为因素影响检测精度的局限,实现高精度、高柔性、高自动化的检具测量。