

基于 ARM 的疲劳裂纹扩展试验 摄像头运动控制系统

钟建飞, 高红俐*, 周寅

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:在疲劳裂纹扩展试验中,疲劳裂纹的自动跟踪是十分必要的。针对疲劳裂纹自动跟踪的问题,首先建立起了以步进电机为运动机构的摄像头云台系统,使用 ARM 作为步进电机控制器,然后由 PC 机对摄像头采集到的裂纹图像进行图像处理并转化为电机运动控制信号,最后将控制信号通过串口传送到 ARM 中。研究表明,摄像头运动系统定位精度为 0.05 mm,重复定位精度为 0.02 mm,达到所期望的控制精度,裂纹自动跟踪的效果也比较理想。

关键词:串口通信;ARM;裂纹跟踪;步进电机;运动控制

中图分类号:TH871.3;TH74;TP23

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)12-1448-05

Camera motion control system of the fatigue crack propagation test based on ARM technology

ZHONG Jian-fei, GAO Hong-li, ZHOU Yin

(Key Laboratory of E & M, Ministry of Education & Zhejiang Province,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: It is necessary to track fatigue crack automatically in the fatigue test. Aiming at the automatic tracking of the fatigue crack, firstly, a tilt system of camera was set up by stepping motor for sports organizations, and ARM was used as a stepping motor controller, then the crack image which was acquired by the camera was processed by the PC and translated into motion control signal of stepping motor, finally the control signal was transmitted to ARM through a serial port. The results indicate that the camera's motion control system has the desired control accuracy with the 0.05 mm positioning accuracy and the 0.02 mm repetitive positioning accuracy, the effect of the crack tracking is ideal also.

Key words: serial communication; ARM; crack tracking; stepping motor; motion control

0 引言

近些年来,疲劳事故频繁发生,解决这一问题的有效可行方案——“疲劳裂纹扩展试验”的研究为人们所重视。疲劳裂纹扩展试验中最关键的是对疲劳裂纹的实时观测,裂纹的萌生和扩展是一个复杂而缓慢的非线性演化过程,人眼观测并不能满足试验的要

求,因此使用机器视觉来观测疲劳裂纹尤为必要^[1]。

该系统根据疲劳裂纹扩展试验的要求,采用 CCD 摄像头作为疲劳裂纹的实时采集机构,以嵌入式 ARM 运动控制器控制步进电机实现摄像头的位置调整。加入摄像头运动控制系统的疲劳裂纹扩展试验机将大大提高疲劳裂纹状态监控的可靠性,降低劳动强度,减少人为因素的影响,具有广阔的应用前景。

收稿日期:2011-07-06

基金项目:浙江省省级科技计划一般(面上)科研资助项目(2007C21080)

作者简介:钟建飞(1986-),男,浙江桐乡人,主要从事嵌入式系统方面的研究. E-mail:243659950@qq.com

通信联系人:高红俐,女,副教授,硕士生导师. E-mail:ghl_zjut@126.com

1 摄像头运动控制系统

1.1 疲劳裂纹扩展试验摄像头运动控制要求

本研究的实验平台如图 1 所示,包括前、后两个摄像头,可拍摄试件前后两面的裂纹。通过步进电机实现摄像头在 X 、 Y 、 Z 3 个轴向上的点对点直线运动。其中 Z 轴电机为实现摄像头高度的调整; Y 轴电机实现摄像头与试件之间距离的调节,即物距的调整,可以实现手动聚焦功能; Y 轴电机实现摄像头在裂纹扩展方向上的位置调整,试验开始时将摄像头视野中心对准裂纹起始位置。

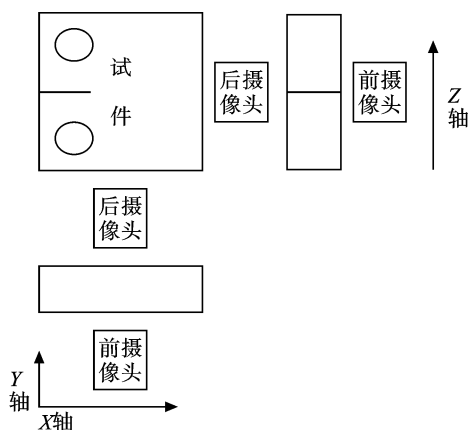


图 1 摄像头自动调整系统示意图

在疲劳裂纹扩展试验中,对摄像头的运动和调速性能有一定的要求。归纳起来,对于运动控制的要求主要有以下 3 个方面^[10]:

(1) 运行平稳及保证高精度:要求进给平稳,特别是在低速运动时,要求无爬行、无冲击。要求摄像头在 X 轴及 Y 轴上的定位精度为 0.05 mm, 重复定位精度为 0.02 mm。

(2) 调速:在一定的最高转速和最低转速范围内,实现慢、中、快 3 档有级调速。

(3) 稳速:以一定的精度在所需转速上稳定运行,抗干扰能力强。

1.2 运动控制系统方案

摄像头运动自动调节系统的总体设计如图 2 所示。系统包括 CCD 摄像机和镜头、摄像头云台、ARM

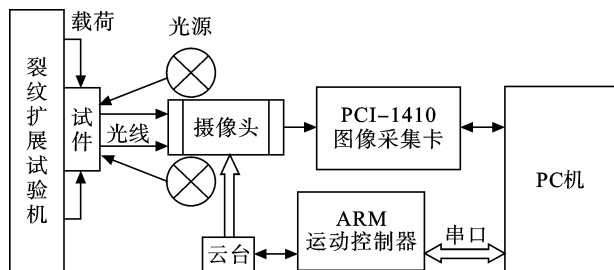


图 2 运动控制系统总体结构框图

运动控制器、光源照明系统、图像采集卡、PC 机以及安装在 PC 机内的 LabVIEW 开发软件和 NI 图像处理工具包 IMAQ Vision。工作流程:首先使用 PLG-100 高频疲劳试验机对试样进行高频疲劳试验,同时将光源打开,CCD 摄像头采集试件图像,图像采集卡将摄像头采集到的图像传送到计算机内存中,最后利用 NI 图像处理工具包 IMAQ Vision 与 LabVIEW 开发软件系统对采集到的数字图像进行处理、测量与判断。摄像头运动自动调节系统包括开环和闭环两种工作方式,开环方式由用户通过上位机运动控制模块界面操作相应动作按钮来进行摄像头运动调整,闭环方式主要是裂纹扩展的跟踪,由图像处理模块计算出裂纹扩展的尺寸,运动控制根据此信号发命令给运动控制器,运动控制器控制摄像头云台上步进电机带动摄像头运动,实现裂纹扩展的跟踪。

1.3 运动控制策略

研究步进电机控制策略研究的主要目的是为了提高步进电机运动控制系统的精度和可靠性^[2]。对于步进电机的运动控制,实际上就是控制步进电动机驱动器输出各相电压的频率。这里采用 ARM 作为步进电动机控制系统的控制器,由 ARM 输出脉冲信号和方向信号。步进电动机的主要优点是能在开环系统中工作,这种运行方式由于控制线路简单,不需要反馈编码器和相应的电子线路,在精度和稳定性要求不高的场合应用广泛^[8]。但在要求高精度和高稳定性的控制时,将采用闭环控制。PID 运动控制策略算法简单、鲁棒性好、可靠性高,被广泛应用于工业控制过程控制。该系统中采用的驱动方式是步进电动机,所以选用增量式 PID 控制算法来完成控制器的设计^[9]。

笔者根据运动控制系统的总体设计中对运动控制系统的要求,再结合本章上述内容对运动控制策略的研究,大致分析确定了控制系统的原理。其结构图如图 3 所示,利用 LabVIEW 软件和开发运动控制系统软件,在上位机上发出运动控制任务和信息,基于 ARM 的运动控制卡根据这些信息控制电机的运动时间和方向,完成实时的运动规划,并发出脉冲信号;步进电机驱动器则放大这些脉冲信号,驱动电机运转,

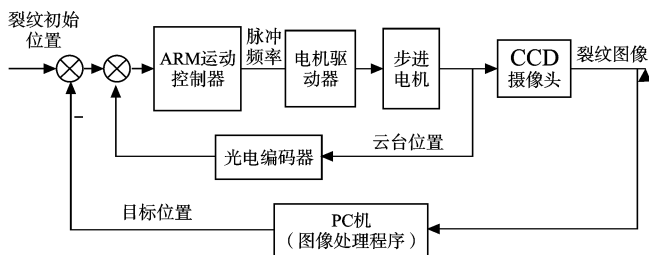


图 3 运动控制实现原理结构图

从而实现摄像头的运动控制。

2 系统软、硬件设计与实现

2.1 系统硬件实现

本研究采用嵌入式结构的运动控制器,设计独立功能的嵌入式 ARM 步进电机运动控制器,通过电机驱动器控制电机运动,使用 RS232 串口与计算机建立实时通信,达到电机的实时控制。因此本研究以 32 位 ARM 嵌入式微处理器 ARM7TDMI 为核心,由 JTAG 仿真调试模块、电源模块、时钟模块、按键模块、RS232 通讯模块、步进电机驱动输出模块、光电编码器测量反馈模块和限位信开关接口模块组成的运动控制器,其总体结构如图 4 所示。

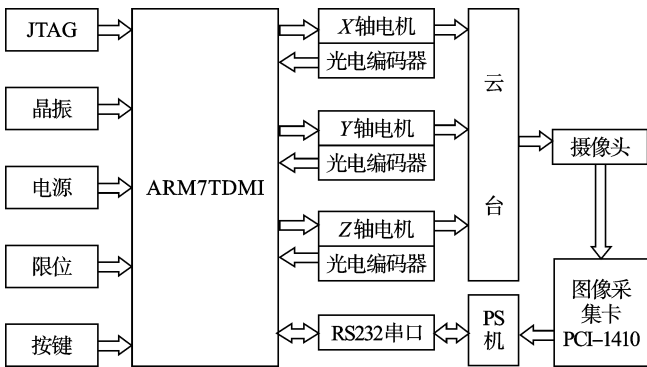


图 4 运动控制器硬件结构框图

运动控制器最主要的部分是对步进电机控制的接口实现,每个步进电机需要两路信号线:一路传送脉冲(改变脉冲的频率和个数实现对电机速度和位移的控制),一路传送方向信号(高电平为正转,低电平为反转)。该控制器用 5 个步进电机分别对云台的前后 X 轴、前后 Y 轴、Z 轴进行控制,应该使用 10 根信号线(每个步进电机两根信号线),5 根脉冲信号线和 5 根方向信号线。

2.2 系统软件设计

系统的软件设计分为两个部分:第 1 个部分是下位机运动控制器程序的编程,可以分为 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植和电机程序的编写,电机程序的编写使用 ADS1.2 作为编程平台,使用 C 语言作为编程语言;第 2 个部分是上位机的人机交互界面的编程,使用 LabVIEW 作为软件编程,使用图形化编辑语言 G 编写程序。

下位机程序的编写首先需要对 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统进行移植^[6],分为 3 个步骤:① 完成基本的配置和定义,在 OS_CPU.H 头文件中定义与编译器相关的数据类型、定义运行和禁止中断宏、定义栈的增长方向和定义 OS_TASK_SW 宏;② 移植 OS_CPU_A 汇编代码文件;③ 移植 OS_CPU_C.C 标准 C 代码文

件。完成上述全部移植工作后,然后就是对 ARM 中运动控制程序的编写,包括一个串口通信协议程序和一个步进电机驱动程序。

串口通信程序主要完成与上位机的通信,负责接收上位机下达的各种控制命令,以及将下位机的各种状态参数传递给上位机^[5-6]。上位机和 ARM 处理器之间采用 115 200 bps 波特率进行异步串行通信,为了能正确解读上位机的命令,特制定两者之间的通信协议。上位机发与下位机通信数据包格式如表 1 所示。

表 1 通信协议帧格式

帧头	功能码	数据码	校验码	帧尾
1 Byte	1 Byte	10 Bytes	1 Byte	1 Byte

帧头:帧的起始字节,代表一个新帧的开始,1 个字节,固定为 0xff。功能码:表示当前的操作类型。数据 1~n:第 1 个字节为电机选择码;第 2 个字节为运动方式码,分为连续和精确两种运动方式;第 3 个字节为运动速度码;第 4 个字节为运动方向;第 5 个字节为位移码,传递在精确运动方式时电机运动的位移;其余未用到的字节为保留码,方便以后控制器功能的扩展。校验码:从起始字符开始的所有 8 位 16 进制数据全部“位与”的操作结果。帧尾:表示一帧的结束,固定为 0xaa。

电机驱动程序的作用主要是完成对编写 10 根信号线的驱动,分别是 5 路脉冲信号线(使用 5 路具有 PWM 功能的定时器)和 5 路方向信号线(使用普通 I/O 口),实现步进电机的开环控制编程比较简单,本研究不做详细介绍。基于增量式 PID 运动控制的程序流程图如图 5 所示,下位机运动控制程序的程序流程图如图 6 所示。

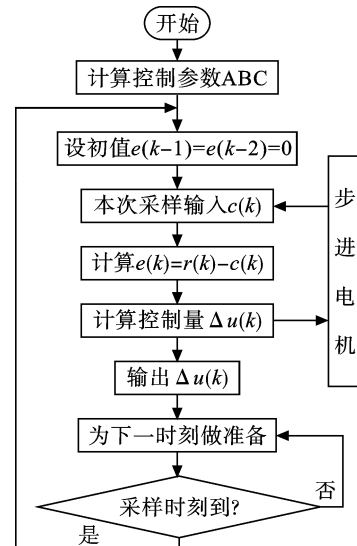


图 5 增量式 PID 运动控制程序流程图

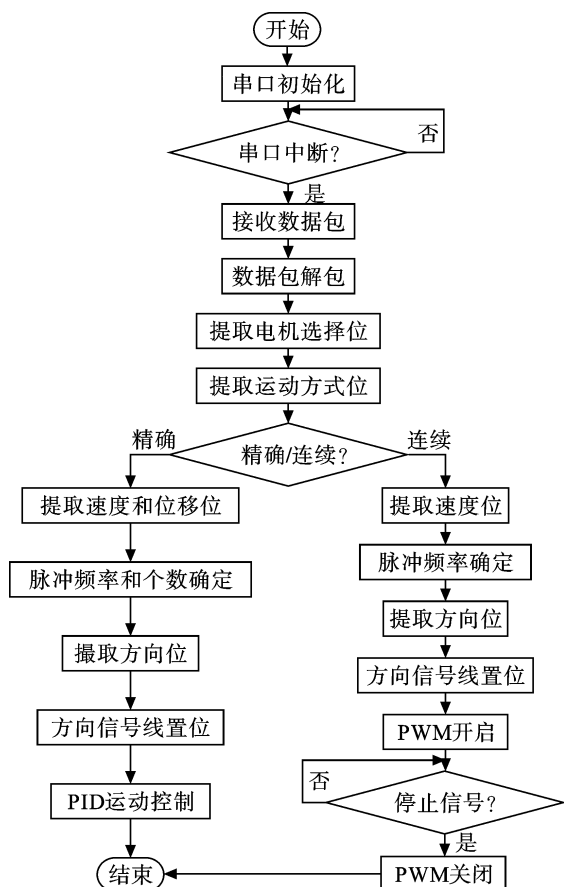


图 6 下位机运动控制程序流程图

上位机的编程可以主要完成手动和自动两个功能:手动控制又可以分为自动和精确控制,电机可以调节的量为速度、方向、位移这 3 个量,电机对启动时的加速度有一定的硬性要求,所以加速度已经在运动

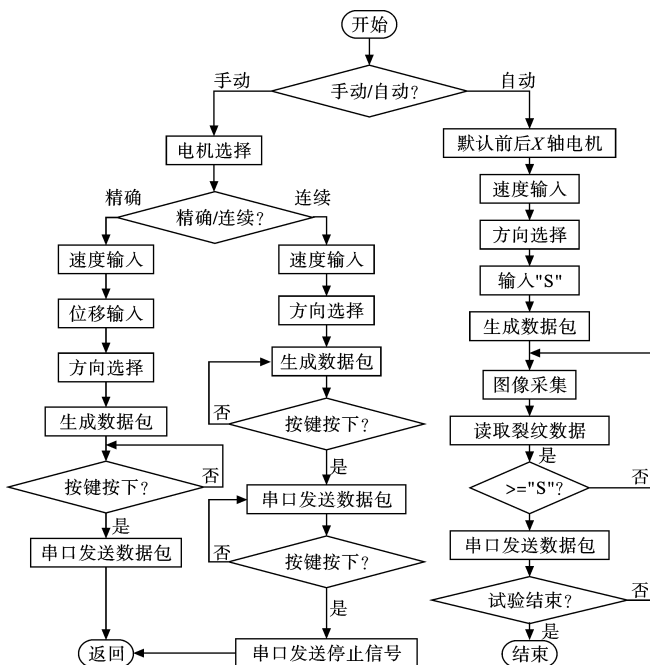


图 7 上位机运动控制程序流程图

控制程序中设为默认值,上位机界面不再提供,手动控制时可以调节所有的电机,主要功能是完成疲劳试验开始前的准备工作——使摄像头视野的中心对准试件裂纹起始点。手动调节结束后可以开启疲劳试验机,然后电机自动跟踪进行疲劳裂纹的自动跟踪,裂纹跟踪时实际工作的电机只有前后 X 轴的电机。

运动控制软件能够实现摄像头的自动调整和手动调整两个功能^[7]。手动控制时,启动时的加速度、运行平稳时的速度、停止运行的减速度可调,而且控制系统可以设定电机运动位移量,具有单步调节和连续调节的能力。根据设计需求,PC 机前面板具有实时显示当前摄像头位置量的功能。

3 实验及实验结果分析

3.1 电机运动控制精度试验结果

本研究完成系统的硬件调试和软件调试后,就需要对系统进行整机调试和试验,实验平台的实物图如图 8 所示。在进行实验前,首先要保证电机、ARM 运动控制板、电机驱动器、电源等设备能正常地工作。疲劳试验开始前先开启疲劳裂纹自动调整软件,通过使用手动调节功能先调节 Z 轴将摄像头上升到预制裂纹区域,然后调节 Y 轴将物距调节到最佳位置,最后调节 X 轴将摄像头视野中心对准裂纹起始位置。

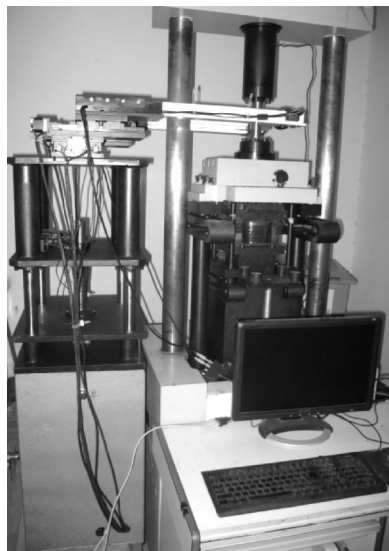


图 8 摄像头自动调整系统实物图

为了验证系统自动跟踪的功能以及在自动跟踪过程中的电机控制精度,本研究在 X 轴上安装两根测量杆,一根安装在固定的电机支架上,另一根安装在摄像头的连接板上,电机运动后定杆和动杆之间的距离会发生变化,使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量两个测量杆之间的距离变化,从而可以得到电机的实际运动位移,并计算得到误差。进行不同位移的运动,

反复试验,这里取出误差最大的 3 组实验数据进行分析,具体数据如表 2 所示。

表 2 不同速度下的测量数据

目标位置(i)	1	2	3	4
位移设定/mm	10	20	30	40
一组	-12	15	12	18
位移偏差/ μm				
二组	13	-11	9	7
三组	-17	-15	11	-13

通过对表 2 中的数据分析,可以得出:运动控制系统本身的控制精度在 0.02 mm 以内,而对摄像头的定位精度在 0.05 mm 以内,因此该系统的设计满足了裂纹机器视觉检测系统对摄像头运动控制提出的设计要求。

3.2 裂纹自动跟踪试验结果

在完成摄像头自动对焦之后,本研究将开启高频疲劳实验,随着实验的进行,裂纹会缓慢生长,如果不进行裂纹跟踪,试件裂纹将会扩展到 CCD 摄像头视野之外,这将对裂纹的检测精度产生严重影响。因此实验过程必须进行裂纹的自动跟踪,进行裂纹跟踪和不进行裂纹跟踪的图像的对比如图 9 所示。

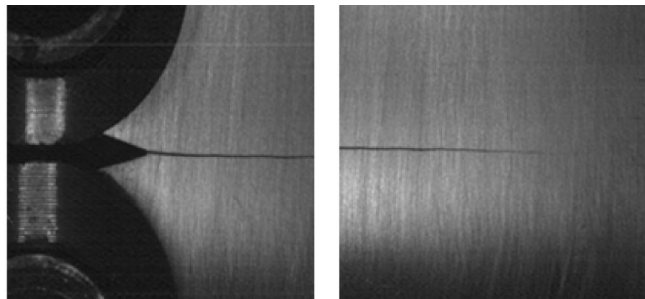


图 9 裂纹跟踪与否的图像对比

4 结束语

本研究介绍了一种方法,采用虚拟仪器 LabVIEW

结合嵌入式 ARM 技术完成步进电机的控制,并通过虚拟仪器强大的图像处理功能结合运动控制技术完成摄像头的裂纹自动跟踪,最后实验结果证明,本研究所编写的上位机程序结合嵌入式 ARM 步进电机控制器比较理想地完成了对裂纹位置的判别和实时跟踪,并能实现最终对试件断裂的判别从而停止试验。本课题的进一步研究中可以加入自动对焦的功能,使高频疲劳试验更加趋于自动化。

参考文献(References):

- [1] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] 曾 励. 机电一体化系统设计[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [3] KANCHANOMAIA C, MIYASHITA Y, MUTOHA Y, et al. Low cycle fatigue test for solders using non-contact digital image measurement system[J]. **International Journal of Fatigue**,2002,17(24):57-67.
- [4] TANG K S, MAN K F. An optimal fuzzy PID controller [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2001,48(4):757-765.
- [5] OSORNIO-RIOS R A, ROMERO-TRONCOSO R J. The application of reconfigurable logic to high speed CNC milling machines controller [J]. **Control Engineering Practice**,2007,12(5):584-589.
- [6] 楚荣珍,周向宁,张 鹏. 嵌入式步进电机控制系统的设计与实现[J]. 微计算机信息,2007,23(2):53-54.
- [7] 李发海,朱东起. 电机学[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [8] 华 金. 基于 ARM 的嵌入式运动控制器的研究与开发 [D]. 浙江工业大学机电工程学院,2008.
- [9] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [10] 楚荣珍,周向宁,张 鹏. 嵌入式步进电机控制系统的设计与实现[J]. 微计算机信息,2007,23(2):53-54.

[编辑:李 辉]