

一种高速摄影机同步控制系统

唐运刚 曹剑中 李变侠 张敏

(中科院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘要 介绍一种高速摄影机的控制系统,重点阐明了系统速度和相位的启动控制方法、PID复合控制算法以及控制软件的设计,最后给出实际应用的结果,满足了系统对控制性能各个指标的要求。

关键词 高速摄影机;速度;相位;PID

中图分类号 TB872 **文献标识码** A

0 引言

目前,高速摄影机在国内光电经纬仪上应用十分广泛^[1],在靶场试验过程中运用高速摄影机实时拍下运动目标图像,并记录相关的数据。通过对胶片的事后判读,可以分析出运动目标的弹道轨迹和飞行特性。高速摄影机的种类很多,主要是按胶片的尺寸区分和摄影机的结构分。在高速摄影机同步控制中,一直存在几个方面的问题:系统启动时间、同步精度、系统正常工作的稳定性等。在本系统中采用了一套完善的速度相位启动控制方法,经过PID及复合控制算法,以及相应的控制软件使得该高速摄影机的同步控制性能的各个指标得到很大提高。

1 基本原理

该高速摄影机是一种同步间歇式高速摄影机,该系统采用了快门和输片分开控制,快门控制系统

控制快门反馈相位与时统80 Hz信号同步,输片控制系统控制输片反馈相位与时统给出的摄影频率信号同步,在该系统中输片可以分别工作在5 Hz,10 Hz,20 Hz三种频率。在正常工作过程中,要实时拍下运动目标和记录相关的信息,首先,调光系统根据当时的光线的强弱,自动调节变密度盘的位置,来满足胶片的感光要求。再次,需要快门和输片两个相位反馈脉冲的前沿分别与给定的时统基准信号的前沿同步。同时还要保证在快门反馈相位和输片反馈相位取信号时,快门和输片处于适合的位置,即摄影频率的前沿到来时,快门挡光板和输片挡光板处于最大曝光时刻。最后,在曝光时刻经纬仪主控计算通过通信系统把点阵数据信息传给工控机,工控机受到这些数据后,经过相关的运算处理,然后由点阵系统把数据记录到胶片上。该系统的主要组成部分:快门输片控制系统、调光系统、通信系统、和点阵记录系统(如图1)。

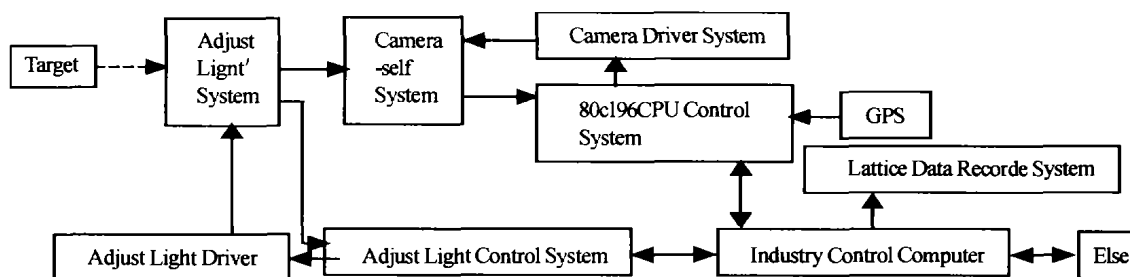


图1 高速摄影机组成框图

Fig. 1 The block diagram of the high speed synchronous camera

2 主要技术指标要求

1) 同步精度

输片系统: $\leq \pm 10 \text{ ms}$ (5 c/s) (输片系统同步后,输片反馈相位的前沿与时统的摄影频率的前沿之间的误差)

$\leq \pm 5 \text{ ms}$ (10 c/s)

$\leq \pm 2.5 \text{ ms}$ (20 c/s)

快门系统: $\leq \pm 0.25 \text{ ms}$ (快门同步后,快门反馈相位的前沿与时统得摄影频率的前沿之间的误差)

2) 同步时间

输片系统: $\leq 3 \text{ s}$ (输片从启动开始计时,在3 s内要达到同步要求)

快门系统: $\leq 7 \text{ s}$ (快门从启动开始计时,在7 s内要达到同步要求)

3 同步控制系统实现

3.1 同步控制系统设计

该高速摄影机同步控制系统包括两套伺服控制系统:输片控制系统和快门控制系统.快门输片控制系统的原理基本一致,因此,两套伺服控制系统硬件控制相似.以 80c196 单片机为核心的硬件控制电路,通过光学编码器来完成速度相位的测量,经过硬件速度闭环和相位闭环后,反馈回单片机.在高速摄影机同步控制系统中,要达到系统的同步控制要求,对速度环的启动和同步控制是相当重要的,如果速度不稳定,忽高忽低,就没办法去控制相机的同步,更不可能实现缩短同步时间.因此,要实现高速摄影机的同步控制,首先必须使摄影机的快门和输片两个伺服系统的电机速度要稳定,速度反馈值与系统给定的值基本一致.然后再调节位置环,根据相位反馈值与时统的摄影频率相比较,算出相位误差,把该误差值叠加到速度环控制回路中,从而实现了系统的速度相位同步控制.最后,由单片机送出控制量通过 D/A 转换,经 PWM 驱动电路控制电机正常工作.硬件控制框图(如图 2).

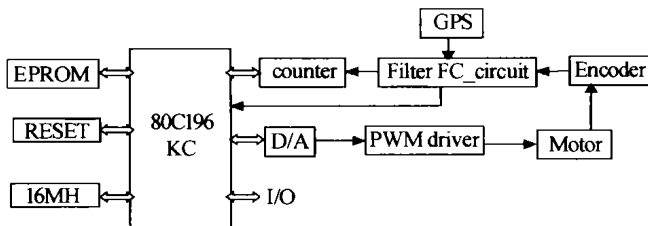


图 2 快门输片系统硬件控制框图

Fig. 2 The block diagram of the shutter and transport-film hardware control system

3.2 同步控制系统的实现

由硬件控制框图,可知道同步控制系统对速度相位环的控制将直接影响到同步控制系统的精度,为了提高系统的同步精度,本系统主要从以下几个方面完善对速度相位环的控制.

1)速度环控制:为了提高电机速度反馈值的相对精度,首先利用光学编码器来完成电机速度的检测,有利于提高速度检测的精度^[2],光电编码器输出的脉冲信号经过 6N137(快速光耦)光电隔离后,送到 4093 芯片整形电路后,经过速度细分电路,送到计数器 8254 计数,由 80c196 单片机在每个采样周期里读取该计数的脉冲值,除以速度比例系数(程序中查表可得到该参数),可计算出该速度的反馈值,系统运行在不同的频率时,速度给定的参数(由查表可得)也不同,根据相应的速度给定值减去速度反馈值即可求出该控制周期内的速度误差,将该误差叠加到系统闭环中去实现速度的控制.

2)相位环控制:同样利用光学编码器来完成电机相位的测量,相位脉冲和时统信号经过双光耦 TLP2630 隔离,送到 4093 芯片整形,然后接到 80C196 的外部中断引脚上,通过相位中断来完成相位的反馈,控制程序在每个摄影频率中对完成的控制周期的次数进行计数 C_{count} ,在该控制周期里相位给定 P_g 为 C_{count} 与 K_{pg} (相位给定系数)的乘积,在相位中断到来时,此时的相位反馈 P_f 为 0° (如图 3).

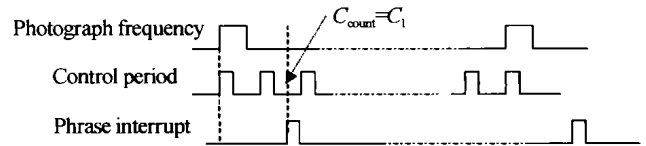


图 3 相位中断信号图

Fig. 3 The signal drawing of the phrase interrupt

在相位中断到来时,被中断的那个控制周期里,设 $C_{count} = C_1$ (C_1 为常数),单片机读出光电编码器送出的脉冲个数为 M_n ,则相位误差

$$P = C_1 \cdot K_{pg} - P_f = C_1 \cdot K_{pg} \quad (1)$$

在下一个控制周期里的相位给定 $P'_g = (C_1 + 1) \cdot K_{pg}$,相位反馈值利用上周期得到的脉冲个数 M_n 可以算出相应的速度 $V = M_n \cdot K_n$ (速度反馈系数),由该速度作当前控制周期的实际速度,即可算出在控制周期的实际相位反馈 $P'_f = V \cdot T$ (T 为控制周期).则相位误差

$$P' = P'_g - P'_f \quad (2)$$

故依次可推出在每个控制周期里相应的相位误差,然后叠加到系统闭环实现相位环的控制.

3)电机驱动问题:采用数字 PWM 脉冲发生器^[3],CPU 送出控制量直接与数字比较器比较产生 PWM 脉冲.这种方法的最大的优点是精度高,同分辨率的数字 PWM 脉冲发生器的精度通常至少要比模拟 PWM 发生器高一个数量级.

4)第四个方面主要是从控制算法上提高速度相位环的控制精度:采用 160HZ 的控制周期,在每个控制周期里,计算出速度相位误差和,经过 PID 复合控制算法,即形成速度相位环控制.

基本的 PID 算法:

PID 公式为

$$U(s)/E(s) = K_p + K_i/S + K_d/(T_d S + 1) \quad (3)$$

式中 K_p 、 K_i 、 K_d 、 T_{di} 分别为比例系数、积分系数、微分系数、微分时间系数,用双线性变换将上式离散化,得到

$$U(k) = U_p(k) + U_i(k) + U_d(k) \quad (4)$$

式中 $U_p(k)$ 、 $U_i(k)$ 、 $U_d(k)$ 分别为比例、积分、微分项.

采用抗积分饱和算法以消除积分饱和带来的系统误差

$$U(k) = U_p(k) + U_i(k) + U_d(k); e(k) \leq \varepsilon \quad (5)$$

$$U(k) = U_p(k) + U_d(k); e(k) > \varepsilon (e(k) \text{ 为系统误差, } \varepsilon \text{ 为误差范围}) \quad (6)$$

复合控制算法

由于引入了相位环,当同步精度不等于 0° 时,系统不再是一个恒值调节系统,复合输入是一个变量. 因此,有必要引入伺服系统中广泛采用的复合控制算法,以消除同步误差,提高同步精度. 与单输

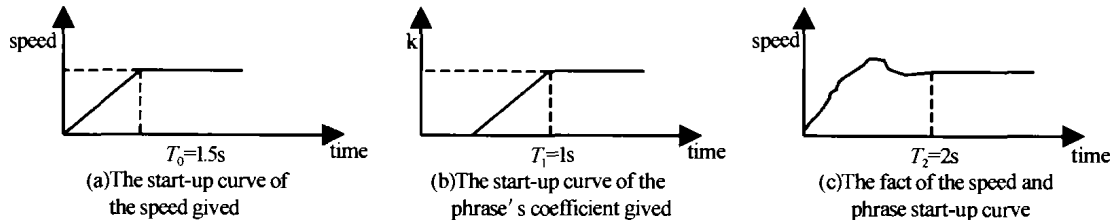


图 4 速度相位环启动曲线

Fig. 4 The start-up curve of the speed and phase loop

采用这种线性启动方式,即是在启动阶段,速度给定由零到正常速度给定线性递增,通过速度环使得系统速度能平稳的上升达到系统给定的正常速度,经试验测试可控制输片启动在 1.5 s 后速度基本达到正常值. 输片启动 1 s 后加上相位环控制,相位误差乘以比例系数 K 后,再反馈到系统闭环,可以保证输片速度上升到正常速度 80% 左右时,通过速度相位复合控制,起到良好的控制效果,从速度启动曲线可以看出,加速度是由大变小,有利于速度很快的提高,然后速度稳定到给定的正常的速度值. 通过这种方法极大的提高了同步精度,缩短系统的同步时间,快门控制系统类似输片系统.

4 系统控制软件设计

该系统的控制程序采用 80c196 的汇编语言编写而成的,为了实现程序的易维护性和扩展性,采用了模块化的设计方案. 程序模块包括速度检测程序、相位检测程序、速度环控制程序、相位环控制程序、故障诊断及保护程序、拍摄频率判断程序、信息输出程序以及四则运算子程序.

速度检测程序:在控制程序中查询速度反馈的计数值,40 c/s 以上经放大 32 倍计数,40 c/s 以下经放大 100 倍计数. 放大 32 倍和放大 100 倍计数主要是减少速度检测误差.

相位检测程序:在程序采用相位中断的方法,检测出系统的相位反馈.

速度环控制程序:根据摄影频率及其摄影编码计算出速度给定值,与速度反馈值比较,得到速度误差,来控制系统电机的转速.

相位环控制程序:根据摄影频率及其摄影编码计算出相位给定值,与相位反馈值比较,得到相位误

差,来控制系统电机的相位. 差,来控制系统电机的相位. 故障诊断及保护程序:即断片堆片飞车保护程序,在输片系统运行过程中,胶片出现断片、堆片和飞车时,系统会自动报警,程序能自动检测出该异常信号,并强制系统停机,同时控制侧面板断片信号灯指示.

3.3 缩短系统的同步时间

缩短系统的同步时间主要是从系统速度环和相位环启动时的控制来说,下面以输片系统为例,控制速度相位环过程(如图 4).

拍摄频率判断程序:根据工控机程序送给单片机控制程序摄影频率编码可以判断拍摄频率,控制输片电机运行与拍摄频率一致.

信息输出程序:输片控制系统需要把速度误差,相位误差,断片等参数传给工控机程序,快门控制系统需要把速度误差,相位误差等参数传给工控机.

四则运算子程序:在单片机控制机程序中,通过四则运算子程序可以计算系统的速度给定,相位给定,速度误差,相位误差,PID 调节等.

四则运算子程序:在单片机控制机程序中,通过四则运算子程序可以计算系统的速度给定,相位给定,速度误差,相位误差,PID 调节等.

四则运算子程序:在单片机控制机程序中,通过四则运算子程序可以计算系统的速度给定,相位给定,速度误差,相位误差,PID 调节等.

四则运算子程序:在单片机控制机程序中,通过四则运算子程序可以计算系统的速度给定,相位给定,速度误差,相位误差,PID 调节等.

四则运算子程序:在单片机控制机程序中,通过四则运算子程序可以计算系统的速度给定,相位给定,速度误差,相位误差,PID 调节等.

5 实验结果

高速摄影机正常工作时的波形图(见图 5). 经测试,各项性能均满足指标的要求,输片的同步精度:系统工作在 5 c/s 时同步误差小于 2 ms;10 c/s 时同步误差小于 800 μ s; 20 c/s 时同步误差小于 750 μ s. 快门的同步精度:同步误差小于 30 μ s.

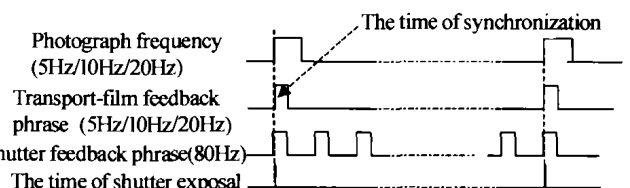


图 5 系统同步脉冲

Fig. 5 The synchronous impulse in system

6 结论

本系统以 80c196 单片机为核心,全数字化的设

设计方案,使得系统具有良好的抗干扰能力,并且起得了较高的同步精度,缩短了系统同步时间,各项性能均满足指标要求.

参考文献

- 1 何照才,胡保安,等. 光学测量仪系统. 北京:国防工业出版社,2002. 7~11
He Z C, Hu B A. Optical Measurement System. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 7~11
- 2 曹剑中. 同步摄影控制系统设计中的有关问题. 光子学报,1998,27(1):70~72
Cao J Z. *Acta Photonica Sinica*, 1998,27(1):70~72
- 3 曹剑中. 间歇式高速同步相机新型全数字化微机控制系统. 光子学报,1997,26(11):1050~1053
Cao J Z. *Acta Photonica Sinica*, 1997,26(11):1050~1053
- 4 孙涵芳,等. Inter 16 位单片机. 北京:北京航空航天大学出版社,1995. 361~381
Sun H F, et al. Inter 16 Byte SCM. Beijing: Beihang University Press, 1995. 361~381
- 5 张铨. 微计算机在自动控制中应用. 北京:清华大学出版社,1997. 66~85
Zhang S. The application of the mirco-computer in the auto-control. Beijing: Tsinghua University Press, 1997. 66~85

The High Speed Synchronous Camera Control System

Tang Yungang, Cao Jianzhong, Li Bianxia, Zhang Ming

Xi'an Institute of Optical and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

Received date: 2003-09-06

Abstract The control system of the high speed synchronous camera is introduced. The new method of speed and phase controllings, PID arithmetic, design of the controlling software are presented, and the experiment results are given. All of the controlling request are satisfied.

Keywords The high speed synchronous camera; Speed; Phase; PID



Tang Yungang was born in 1976, and received the B. S. degree from Hubei Polytechnic University in 2000. Now, he is studying for his M. S. degree in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, the Chinese Academy of Sciences. His research interests include the application of modern control theory and software development.