

摄影同步控制系统的研究

陈 涛 钟崇德 李贵生

摘要：本文以 160* 电经纬仪摄影机同步控制系统为例，进行了全面分析和研究。提出了改进系统相位检测手段，提高采样频率和采用变参数自适应控制来改善系统的性能。设计并实现了一种微机控制的全数字的摄影同步控制系统，其所有控制功能由一片 8031 单片机完成。

一、引 言

在进行导弹、飞机、火箭等运动物体的研制工作中，需要对其运动的轨迹进行精密地测量。通常采用两台以上电影经纬仪同时对准飞行目标进行同步摄影，实施多台电影经纬仪交绘测量。在每一张画幅上拍摄飞行目标的同时，还要记录目标的脱靶量、目标的方位、高低角度值、时间等信息。事后对同步摄影所获得的胶片进行数据处理，就可获得飞行目标的外弹道参数。电影经纬仪对这些信息的记录是用同步摄影机进行拍摄记录的。在实施交汇测量时，要求同步摄影机精确同步摄影，即在指定的时刻，指令中心的时统战向各台测量经纬仪发出摄影脉冲，控制摄影机同时拍摄飞行目标。从五十年代起国内外陆续研制的 ETOS, K400, 150*, 160*, 179*, 718*, 662*, 778* 等多种型号的电影经纬仪，其摄影机同步控制系统的原理都基本相同。原理图如图(1)，基本上都是采用直流电机作为执行电机，采用直流测速机测量速度，组成调速回路，采用交流测速机测量相位，组成锁相回路。

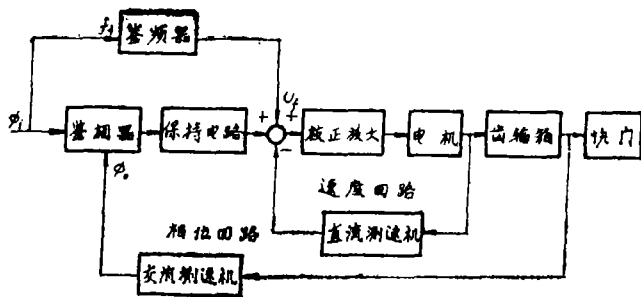


图 1

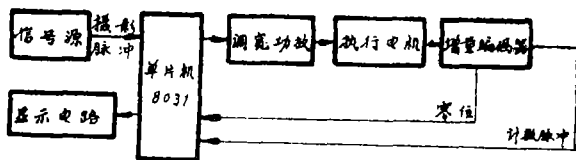


图 2

经过分析多种型号经纬仪摄影机同步控制系统，本文的任务是研究设计一种全数字化的、微机控制的摄影同步控制系统。如图(2)所示，执行电机仍采用直流电机，相位和速度

检测用一台增量式编码器，系统的所有控制功能由一片单片微机完成。解决了系统低速摄影问题，改善了系统的性能，同时又简化了系统的辅助电路。

二、摄影机同步控制系统的工作原理及分析

系统的同步过程分为两步：即频率锁定和相位锁定，鉴频器根据摄影脉冲频率 f_i ，给出相应的基压 U_i ，经放大后推动电机使快门旋转频率 f_s 与 f_i 相一致，实现频率锁定。用交流测速机测出快门相位，通过鉴相器与指令脉冲相比，得出相位偏差电压，通过放大驱动电机使快门开口角中心与指令脉冲相位一致，实现相位锁定。在整个过程中二者并不能截然分开，而是互相影响互相牵制的，但频率锁定是相位锁定的前提。系统的相位回路是一个采样位置控制系统，采样频率就是系统的摄影频率。

以 160* 摄影机同步控制系统为例，进行分析（具体分析从略）可总结如下：

1. 相位采样频率直接影响着系统的性能。低速摄影时，采样频率低，系统性能变差，甚至造成系统不能同步。提高相位采样频率是改善系统性能的关键。
2. 由于系统采用模拟控制，系统的控制结构和参数不变。一方面使得系统低速摄影时，不能稳定可靠；另一方面限制了系统的性能。应用变参数自适应控制，来改善系统的性能。
3. 采用交流测速机鉴相，存在着死区和非线性，影响着系统的性能，也限制了采样频率的提高，另外辅助电路复杂，不适于实现微机控制，应改进相位的检测手段。
4. 采用直流测速机测速反馈，由于非线性失真和性能的变化，影响了系统的性能。另外也增大了摄影机的体积，提高了系统的成本。
5. 基压的漂移对性能影响很大，应采用微机控制来克服基压的漂移现象。

三、全数字摄影同步控制系统的研究及设计

在对原系统全面分析的基础上，本文对系统进行了改进并设计了一种所有控制功能都由

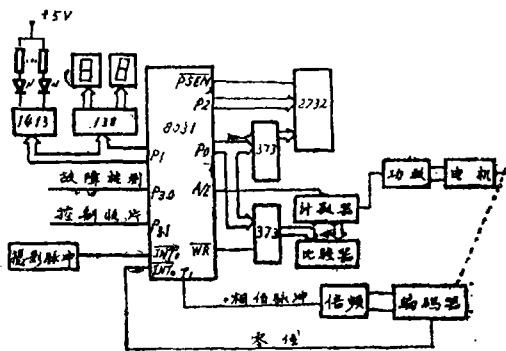


图 3

一片8031单片微机完成，实现了全数字化微机控制，使整个系统的结构有了很大简化。整个系统的组成如图（3）所示，具有频率显示，精度显示，堆断片故障处理，收片机控制等功能。编码器选用一台 256 线增量式编码器，经四倍频后变成1024线，提高速度和相位测量精度。功率级采用脉宽调制式PWM方式，功率器件选用大功率场效应管，使得功率机的性

能有了很大改进。

（一）系统的数学模型

1. 电机模型

不考虑电机电磁时间常数，电机转速对电枢电压的传递函数为：

$$\Omega(s) = \frac{K_1}{1 + T_{em}s} \cdot U_a(s) - \frac{K_2}{1 + T_{em}s} \cdot T_L(s) \quad (1)$$

式中: Ω ——电机转速($^\circ/s$)

U_a ——电枢电压(V)

T_L ——负载扰动力矩($N \cdot M$)

T_{em} ——机电时间常数(s)

2. 相位模型

设每转编码器发出 M 个脉冲, 则相位传递函数为:

$$\frac{N_\theta(z)}{\theta(z)} = \frac{M}{360} \quad (2)$$

式中: θ ——十进制角度($^\circ$)

N_θ ——相位脉冲个数

3. 测速模型

采用了编码器就可以省去直流测速机, 直接测量速度实现反馈闭合。速度可用式(3)求得:

$$\Omega(i) = \frac{\theta(i) - \theta(i-1)}{T_\sigma} \quad (3)$$

式中: T_σ ——采样周期

Ω ——速度

$\theta(i)$ ——采样时刻相位

由上式可推出:

$$\frac{\Omega(z)}{\theta(z)} = \frac{1 - z^{-1}}{T_\sigma} \quad (4)$$

速度可用 T_σ 内所转过的脉冲个数表示:

$$N_\sigma(i) = \frac{M}{360} (\theta(i) - \theta(i-1)) \quad (5)$$

式中: N_σ ——快门转速(个数/ T_σ)

由(5)式可得:

$$\frac{N_\sigma(z)}{\theta(z)} = \frac{M}{360} (1 - z^{-1}) \quad (6)$$

由(5)和(6)可得:

$$\frac{N_\sigma(z)}{\Omega(z)} = \frac{T_\sigma M}{360} \quad (7)$$

4. 整个系统的模型

整个系统的结构如图(4)所示, 由结构图可看出系统是一个多采样控制系统。本文在设计时选取 $T_\sigma = T_\sigma \ll T_{em}$, 故系统等效成连续系统, 结构图如图(5)所示。

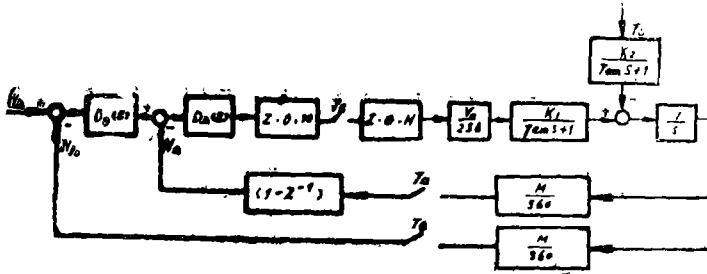


图 4

(二) 控制系统的改进研究

1. 提高系统的相位采样频率

相位采样频率是影响系统性能的主要因素，由于采用编码器检测快门相位，这样就可以任意提高反馈相位的采样频率。对于给定相位，本系统只输入频率一定的摄影脉冲，即只给出零位。可以把摄影给定看成是相位等速输入，可以用软件计算出任意时刻的相位。

2. 控制系统的改进

对于摄影同步控制系统，系统的输入相当于相位等速输入。在整个摄影过程中，负载力矩是变化的，而且变化很大，我们把系统的速度回路设计成 I 型系统，相位回路设计成 II 型系统，来提高系统的同步精度和抗干扰能力。

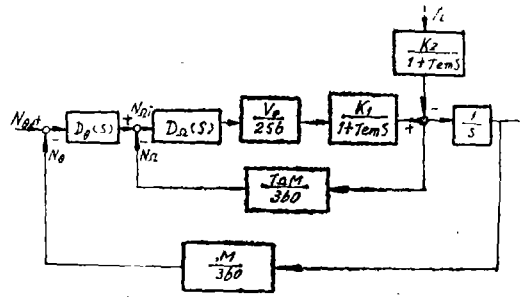


图 5

(1) 速度回路

校正环节为： $D_D(s) = K_{pD} + K_{iD}/s$

取： $K_{pD}/K_{iD} = T_{em}$ ，则速度回路闭环传递函数是：

$$G_{D_0}(s) = \frac{K_D}{1 + \tau_D s}$$

式中： $\tau_D = \frac{1}{K_{iD} \cdot V_0 / 256 \cdot K_1 T_0 M / 360}$ ， $K_D = 1$

(2) 相位回路

取校正环节为： $D_\theta(s) = K_{p\theta} + K_{i\theta}/s$

利用计算机进行数字控制系统仿真，进行校正参数寻优。本文在 160 摄影机同步控制系统得以实现。

(三) 变参数自适应控制

为加快系统的同步过程，改善系统的性能，采用变参数自适应控制如下：

1. 限制幅值

对应摄影频率 f_i ，对应于相位输入速度是 N_i ，把速度回路的输入 N_{0i} 限制在 $-2N_i < N_{0i} < 2N_i$ 范围内，使系统的同步过程显著加快。

2. 同步过程中变增益

同步过程中增益由小变大，提高系统的稳定裕量，减小超调，加快同步过程。为了适应各种摄影频率，还采用对于不同摄影频率，采用不同校正参数和不同采样频率，来改善系统性能。

(四) 系统的软件实现

采取以控制模块为中心进行模块化编程方法。软件完成的功能有：自动鉴频、选频、频率和精度显示、相位采集、速度计算、数字校正、控制量输出、堆断片故障处理和收片控制、定时采样、摄影启动和停止、不同步报警等。

四、实验结果及结论

1. 实验结果

系统有两个重要指标：同步时间和同步精度。实验结果如表 1 所示：

表 1

频 率		1 C/s	2 C/s	4 C/s	10C/s	20C/s	40C/s	80C/s
同步精度 (度)		± 2	± 2	± 2	± 2	± 2	± 2.5	± 3.0
同步时间	均 值(s)	2.67	1.55	1.14	0.9	0.87	1.22	1.33
	最 大	4.0	2	1.56	1.2	1.2	1.47	1.67

(随机测量十次数据计算同步时间的均值)

2. 结论

(1) 采用微机控制，实现全数字化，改善了系统的性能，使得系统调试方便，工作可靠。

(2) 用编码器测量相位和速度，并组成闭合回路，能够满足系统的性能要求。

(3) 提高相位采样频率是改善系统性能的根本。把系统设成 II 型系统，提高了系统的同步精度和抗干扰能力。

3. 展望

为进一步完善系统性能，需对系统进行进一步改进。

控制微机采用 16 位单片机，一是提高计算速度和精度，从而提高采样频率；二是省去硬件脉宽调制电路，使系统更加简单可靠。增加编码器线数，提高相位和速度测量精度，提高同步精度。

参 考 文 献

[1] Barry W. Johnson, et al., IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. EE-33, No. 1, Feb. 1986

[2] 孙增圻等, 《控制系统的计算机辅助设计》, 清华大学出版社

[3] B.C. Kuo, 《Digital Control System》, New York Holt Rinehart and Winston, 1980

A Study of a Camera Synchro-control System

Chen Tao Zhong Chongde Li Guisheng

Abstract

In this paper the theodolite camera synchro-control system is analyzed in detail. In order to improve the system performance an advanced position sensing method and a adaptive controller are adopted with faster sampling frequency. A fully digital synchro-control system handled by a microcomputer is designed. All the control function are implemented by a 8031 single-chip microcomputer.

《光学机械》编辑委员会

主 编 唐九华

副主编 陈星旦

编 委 王世焯 王汝勤 王雅黎 李明杰 杨厚民
姚立常 薛培中 曾柏川 (常委)

本期责任编辑 曾柏川

光 学 机 械

编 辑 《光学机械》编辑委员会

(长春1024邮政信箱)

出 版 中国科学院长春光机所

印 刷 长春新华印刷厂

主 编 唐 九 华

发 行 长春光机所情报研究室

国内统一刊号: CN-22-1141