

一种像移补偿系统的数字设计与实现

Digital Design and Realization of an Image Motion Compensation System

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所; 黄 浦^{1,2} 修吉宏¹ 李 军^{1,2} 李友一¹ 葛文奇¹
2.中国科学院研究生院) HUANG Pu XIU Ji-hong LI Jun LI You-yi GE Wen-qi

摘要:针对一种航空遥感器的像移补偿系统,简要介绍了系统的原理与设计思想。基于 AVR 单片机和 CPLD 逻辑器件,给出了系统硬件接口设计和软件设计流程,并采用高精度的 M/T 测速方法实现了系统的稳速功能。系统实现方法具有较强的实用性,为其他稳速系统的设计提供了参考。

关键词: AVR; CPLD; 像移补偿; M/T 法

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Abstract:The principle and design idea of an image motion compensation system is introduced in an aerial remote sensor. Based on AVR microprocessor and CPLD logic device, the hardware interface and software flow chart of the system are demonstrated. The function of rotational speed stabilization is realized with high accuracy M/T algorithm. The realization method for the system design is of strong practicability and can provide reference for the designs of other similar systems.

Key words: AVR; CPLD; Image Motion Compensation; M/T Algorithm

1 引言

航空遥感器在进行航空摄影时,由于飞行器的运动、姿态变化及其他原因引起的振动会导致在曝光期间内感光介质与所拍摄景物的影像存在相对运动,这就产生了像移。像移会导致成像模糊及图像拖尾效应,极大影响了成像质量,使图像分辨率明显下降。通过一定的措施来补偿各种因素所产生的像移对于提高成像质量和图像分辨率有着重要意义。

常用的像移补偿的方法有很多种,主要有机械式、光学式、电子式、图像式等方法。本文讨论的像移补偿系统需要补偿的是由于飞机飞行引起的前向像移,采用的是机械式像移补偿方法,即通过凸轮机构推动焦面组件沿飞行方向在导轨上运动来实现像移补偿。

2 像移补偿系统工作原理

航空遥感器工作时,像移补偿系统的电机转速由主控制器通过 SPI 通讯接口输入。像移补偿系统工作原理图如图 1 所示。系统接收到电机转速数据后,控制像移补偿电机启动。当主控制器发出像移补偿离合器驱动信号时,像移补偿离合器吸合,凸轮开始推动焦面组件运动,完成一次补偿。离合器转动一周后自动断开,焦面组件停在起始位置,等待下一次像移补偿离合器驱动信号。工作过程中,系统采用测速编码器作为速度反馈元件,通过转速反馈构成闭环控制系统来实现稳速功能。

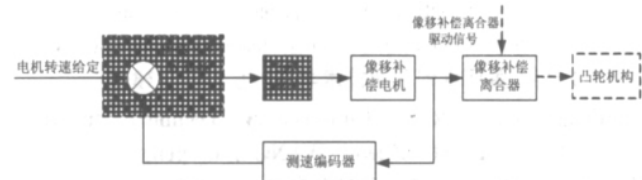


图 1 像移补偿系统原理图

黄 浦: 硕士 助理研究员

3 测速算法选择

在数字控制系统中,用光电编码器作为速度反馈器件,即根据光电编码器脉冲计数来测量转速的方法主要有三种,不同应用场合使用不同的测速算法所得到的测速精度也不一样。

(1)M 法测速

这种方法通过在规定的时间内测量所产生的脉冲数来获得被测速度值,转速增加时,相对误差会减小。该方法适用于高速测量场合。

(2)T 法测速

这是一种通过测量相邻两个脉冲的时间来确定被测速度的方法。转速增加时,相对误差会增大。该方法适用于低速测量场合。

(3)M/T 法测速

这种方法是同时测量检测时间和在此检测时间内光电编码器输出的脉冲数来确定被测转速,能同时满足高速和低速测量场合。

以上三种测速方法中,T 法适用与低速测量场合,对本系统不适用;M 法适用于高速测量场合。但经计算,系统要求的稳速精度为 2%,当选取采样周期 $T_s=1\text{ms}$ 时,由编码器脉冲计数误差 ± 1 引起的速度测量误差较大,不能满足系统稳速精度要求。

M/T 法不论是分辨率,还是测速精度都优于前两种方法,可在较宽的速度范围内得到高精度的测速值。在本系统中,采用 M/T 法来测量电机转速,通过选取合适的脉冲检测时间 T_g 及高频时钟频率 f_c ,能够满足系统稳速精度要求。M/T 算法测速原理图如图 2 所示。

采集数据时间 $T = T_g + \Delta T$,其中 $T_g = 0.3\text{ms}$,高频时钟脉冲 T_2 的频率为 500kHz。 T_g 定时结束后,编码器再输出一个脉冲后停止高频时钟脉冲 T_2 。若不考虑编码器脉冲周期不均匀误差,则 M/T 法测速的最大误差为:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{1}{m_2 - 1} \times 100\% = \frac{1}{0.3 \times 10^{-3} \times 500 \times 10^3 - 1} \times 100\% = 0.67\%$$

因此,理论上而言,选取高频时钟脉冲 f_c 越高,测速精度也越高。因此,只要适当选取高频时钟脉冲, M/T 测速方法可以达到很高的测速精度。

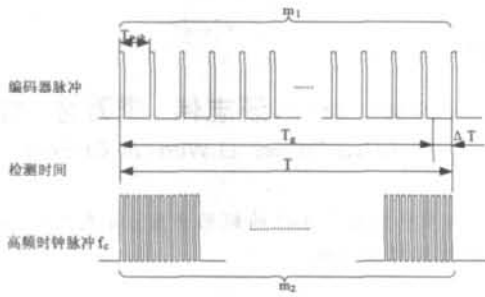


图 2 M/T 测速算法原理图

4 硬件设计

4.1 处理器选择

像移补偿控制器选择 AVR 公司 ATmega16 作为核心处理器。ATmega16 属于 8 位 AVR 单片机,最高时钟频率达 16MHz,其内部硬件乘法器只需要两个时钟周期即可完成,两个 8 位定时器/计数器均具有独立预分频器和比较器功能,一个 16 位定时器/计数器具有预分频器、比较功能和捕捉功能,此外还具有四通道 PWM、2 个同步外部中断和 1 个异步外部中断,及可工作于主机/从机模式的 SPI 串行接口。

4.2 逻辑控制接口

系统选用 ALTERA 公司的 EPM7128STH100-10 型 CPLD 逻辑器件。在像移补偿控制系统工作过程中,该逻辑器件主要完成以下三个功能。

(1) 编码器信号处理

为提高测速精度,CPLD 把编码器 A、B 脉冲信号 4 倍频,倍频后的脉冲接入微控制器的 INT1 中断,通过外部中断来对编码器脉冲进行计数。

(2) 像移补偿电机 PWM 控制

PWM 载波频率为 1kHz,采用微控制器的 16 位定时器/计数器 T1 来实现,利用其输出比较功能控制电机,输出的 PWM 信号经 CPLD 进行适当的逻辑处理后输出至功率放大电路。

(3) M/T 法测速中 T_g 定时

像移补偿控制器通过 I/O 口 PA7 引脚高电平信号启动 CPLD 的 T_g 定时开,CPLD 定时结束后通过 I/O 口以上升沿方式触发外部中断 INT0,通知像移补偿控制器 T_g 定时结束。

根据以上设计思路,处理器与逻辑接口芯片之间的接口框图如图 3 所示。

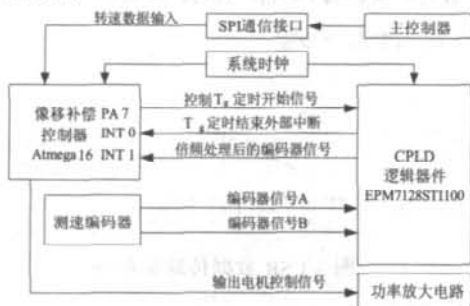


图 3 硬件设计接口框图

5 软件设计

像移补偿控制系统软件需实现的主要功能如下:

- (1)与主控制器进行 SPI 通讯,接收 SPI 口输入的电机转速数据;
- (2)通过对编码器脉冲计数,采用 M/T 算法检测电机转速,实现系统稳速功能。

在实现以上两个功能时,需占用的中断及定时/计数器资源如表 1 所示:

表 1 处理器硬件资源使用情况表

资源名称	功能及取值
定时器 T1 中断	采样周期中断, 选取 $T_s=1ms$ 。
定时器 T2	用于测速过程中的精确计时, 使用内部时钟 CLK/32=500kHz。
SPI 通讯中断	与主控制器进行通讯, 接收电机转速数据
外部中断 INT0	T_g 定时结束中断, 测速过程中完成 T_g 定时后由 CPLD 触发。
外部中断 INT1	由编码器脉冲触发, 用于计数脉冲。

软件设计时,用到的重要标志位有:

- (1) T_g 定时结束标志:该标志为 0 表示 T_g 定时未结束;为 1 表示 T_g 定时结束;
- (2) 测速相关数据准备状态标志: 该标志为 0 表示正在获取测速相关数据;为 1 表示测速数据准备好,可以开始电机转速计算。

软件设计流程图如图 4 所示。

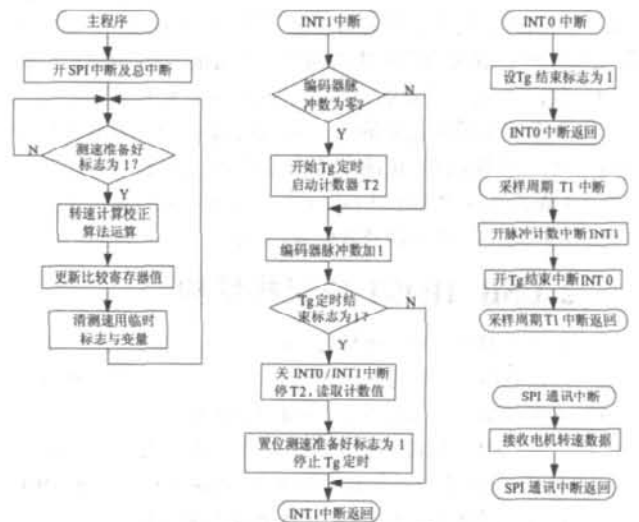


图 4 软件设计流程图

M/T 算法的软件实现流程比较复杂,涉及多个中断、定时器/计数器资源的合理运用。在进行本系统的软件设计时,转速计算及校正算法流程等均在主程序中执行,这样不仅可以避免采用中断嵌套,并能够尽可能缩短中断服务程序执行时间,提高程序运行的可靠性。

6 结论

本文基于高性价比的 ATmega16 单片机和逻辑控制芯片 EPM7128STH100,设计了一种航空遥感器像移补偿计算机控制系统,实现了系统的稳速功能,稳速精度达到 0.8% 以内。本文所设计的像移补偿控制系统已在某航空遥感器中实际应用并稳定运行,实现方法具有一定的新颖性和较强的实用性。

本文作者创新点在于采用 AVR 单片机和逻辑控制芯片,通
(下转第 5 页)

技术创新

够保持稳定,我们说该控制系统具有良好的鲁棒稳定性。

针对(9)式所示的系统,将上述的分析方法和 GPC 方法进行比较,在 $t=0$ 时,设定值进行单位阶跃;在 $t=100\text{s}$ 时,引入 $d(s)=-0.5/s$ 的扰动,得到如图 2 所示的结果。由图 2 可以看出,GPC 方法对设定点的响应有明显的超调,抗干扰能力较差。应用本文提出的方法,超调减小,而且,达到设定点的时间明显减小。若出现模型失配的情况,控制器的参数不需要做任何改变,设定值响应和干扰响应见图 3,可以看出,本文方法得到的响应曲线明显好于 GPC 控制方法得到的响应结果。

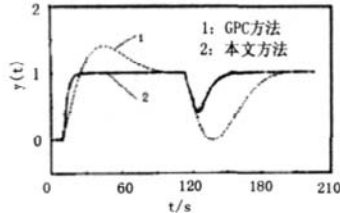


图 2 标称模型下的单位阶跃响应曲线

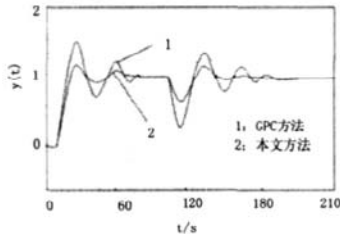


图 3 模型失配时的单位阶跃响应曲线

5 结束语

本文讨论了一种由被控对象和预测 PID 控制器组成的系统在参数不确定情况下输入输出稳定性的分析方法。本文的创新点在于将分析预测 PID 控制系统的鲁棒稳定性转换成分析连续系统特征多项式的 Hurwitz 稳定性。弥补了传统分析方法的不足。针对高阶加滞后对象,给出了在不同过程参数和控制器参数下的预测 PID 控制系统保持稳定的最大过程参数区间。结果表明,当过程参数偏离标称值时,该方法仍能使系统保持稳定,使系统具有很好的鲁棒稳定性。

参考文献

- [1]Watanabe K., Ito M.. A process model control for linear system with delay [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1981,26 (6): 1261;1266.
- [2]HOWK,HANGCC,CAOLS. Tuning of PID controllers based on gain and phase margins specifications[J].Automatica,1995,31(3):497-502.
- [3]从延奇,谢君等,基于神经网络的多变量非线性自适应解耦控制研究.微计算机信息,2004,20(3):22-23.
- [4]PARKJH,SUNGSW,LEEL. An enhanced PID control strategy for unstable processes[J]. Automatica,1998,34(6):751-756.
- [5]Hurwitz A.. Uber die bedingungen, unter welchen eine gleichung nur wuezeln mit negativen reellen teilen brsitzt [S.I.].Math, Ann.,1895,46:273- 284.
- [6]Schur I. Uber potenzreihen, die in inner des einheitkreises beschränkt sind[S.I.].ReinA ngew. Math., 1918,147:205-232.
- [7]Kharitonov V. L.. Asymptotic stability of an equilibrium position of a family of system of linear differential equations[J]. Differential Equations, 997,14(11): 2086-2088.
- [8]Bartlett A, Hollot C, Huang-Lin. Root locations of an entire polytop of polynomials: it suffices to check the edges[J]. Mathemat-

ics of Control, Signals and Systems,1998, 1: 61-71.

[9]Kwok K.Y.and Shah S.L.. Long-range predictive control with a terminal matching condition [J]. Chemical Engineering Science , 1994,49 (9):1287- 1300.

[10]Miller R.M., Kwok K.E.and Shah S.L.. Development of a stochastic predictive PID controller. In Proc [J]. American Control Conference,Paper FP10.1995, 5:4204-4208.

作者简介:张云(1973-),女(汉族),宁夏银川人,宁夏职业技术学院机电工程系讲师,博士,主要从事预测控制及智能控制研究。

Biography: ZHANG Yun (1973 -),female (Han nationality), Ningxia Yinchuan, Ningxia Vocational Technological College, lecturer, Doctor, Predictive control and Intelligence control.

(750021 银川宁夏 职业技术学院) 张 云 王思军

(250061 山东济南 山东大学控制科学与工程学院) 刘红波

(Ningxia Vocational Technological College, Yinchuan 750002, China) ZHANG Yun WANG Si-jun

(College of Control Science and Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China) LIU Hong-bo

通讯地址:(750021 银川宁夏 职业技术学院) 张 云

(收稿日期:2010.05.31)(修稿日期:2010.09.01)

(上接第 87 页)

通过对光电编码器脉冲倍频后计数,实现了高精度 M/T 算法。算法在工法在工业控制中具有较强的应用性,可以以算法模块的形式应用于类似系统中。

参考文献

- [1]刘明,匡海鹏等.像移补偿技术综述[J].电光与控制.2004,11.
- [2]秦继荣,沈安俊.现代直流伺服控制技术及其系统设计[M].北京:机械工业出版社,2002.7.
- [3]李为民,姜漫.基于光电编码器的速度反馈与控制技术[J].现代电子技术,2004,23.
- [4]王银玲等.基于 ATmega16 的智能直流调速系统[J].微计算机信息.2007,5-2:P84-85.
- [5]ATmega16 数据手册[Z]. Rev.2466G - AVR - 10/03.
- [6]沈文,Eagle Lee,詹卫前.AVR 单片机 C 语言开发入门指导[M].北京:清华大学出版社,2003.5.

作者简介:黄浦(1981-),男(汉族),中科院长春光机所助理研究员,硕士。主要研究方向:航空机载设备数字控制技术研究 and 伺服系统设计。

Biography:HUANG Pu (1981-),Male (Han People), Changchun Institute of Optics,Fine Mechanics and Physics,Chinese Academy of Science,assistant researcher master. Main Research Directions: airborne device digital control technology research and servo system design.

(130033 长春 吉林中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所) 黄 浦 修吉宏 李军 李友一 葛文奇

(100039 北京 中国科学院研究生院) 黄 浦 李 军

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences Changchun, Jilin 130033, China)

HUANG Pu XIU Ji-hong LI Jun LI You-yi GE Wen-qi (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China) HUANG Pu LI Jun

通讯地址:(130033 长春 长春市经开区东南湖大路 3888 号长春光机所航测部) 黄 浦

(收稿日期:2010.06.09)(修稿日期:2010.09.09)