

基于 PIC 的微小倾转旋翼机辨识建模设计

张鑫, 何汀, 莫志鹏, 曹云峰

(南京航空航天大学自动化学院, 江苏南京 210006)

摘要: 文中的研究目的是建立倾转旋翼飞机的模型, 从而解决倾转旋翼飞机的控制问题。介绍了基于 PIC18F 单片机和微机械 (MEMS) 传感器的微小倾转旋翼机纵向通道辨识建模系统设计。其中系统设计采用了实验建模的方法, 利用 PIC 单片机的 CCP 模块实时捕捉遥控输入信号, 利用 MEMS 传感器实时采集飞行姿态信号, 并在 MATLAB/SIMULINK 环境下进行了仿真。仿真结果表明系统能够准确采集输入和输出数据。通过精密低速转台测速实验, 证明该系统工作稳定, 精度可靠, 实时性较好。

关键词: 微小倾转旋翼机; 辨识建模; PIC 单片机; 数据采集

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)07-0242-04

Design of Identification Modeling Device of Micro Tilt Rotor Vehicles Based on PIC

ZHANG Xin, HE Ting, MO Zhi-peng, CAO Yun-feng

(School of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210006, China)

Abstract: The purpose of this study is to establish the model of tilt rotor aircraft, so as to find an approach to the control problem. In this paper, design of longitudinal channels identification modeling device of micro tilt rotor vehicles based on PIC18F is mainly introduced. In the model, the system design uses an experimental model, the device uses CCP modules of PIC MCU to capture the remote controlled input signal and uses the MEMS sensors to acquire fly attitude signal in real time, and the simulation is performed with Matlab/Simulink. The result shows that the system can catch the input and output data accurately. Experiment on the precise low-speed rotary shows that the system is stable, reliable, accurate, and its real-time performance is good.

Key words: micro tilt rotor vehicles; identification modeling; PIC MCU; data acquisition

0 引言

倾转旋翼飞行器具有直升机和固定翼飞机的双重优点, 是个崭新的研究领域。该研究的关键问题是倾转旋翼的动力学数学模型难以建立^[1], 特别是过渡模式下的模型极为复杂, 用传统理论建模方法难以建立准确的模型^[2]。运用系统辨识的方法对微小倾转旋翼飞行器纵向通道进行建模, 可以为倾转旋翼飞行器理论建模提供一些参考和佐证。飞行器辨识建模的关键是能准确采集飞行数据^[3,4], 因此设计一套性能优良的机载数据采集系统至关重要。

文中设计的辨识建模系统以 PIC 单片机为核心, 基于 MEMS 测量元件, 实现了微小倾转旋翼机遥控飞行模式下纵向通道遥控操纵信号及部分飞行姿态信号的采集。

1 系统需求分析

文中微小倾转旋翼飞行器是简化的倾转旋翼飞行器, 其纵向通道输入输出结构图如图 1 所示^[5]。根据辨识建模的需要, 需实时采集的飞行数据为直升机模式下的总距、俯仰角速率, 过渡模式下的总距、升降舵偏角、俯仰角速率和垂向加速度^[6]。

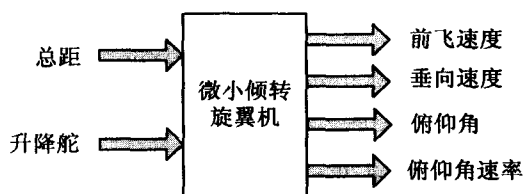


图 1 纵向通道输入输出结构图

针对微小倾转旋翼机的飞行试验, 采用地面操纵手遥控飞机飞行。遥控手的操纵指令由遥控发射器产生^[7], 经过调制解调后被转换成周期固定, 占空比随操纵杆偏移量变化的 PWM 波, 来驱动舵面偏转^[8,9]。要想采集遥控手操纵飞行器的总距和升降舵机输入

收稿日期: 2010-12-08; 修回日期: 2011-03-03

基金项目: 国家科学创新基金项目 (091028710)

作者简介: 张鑫 (1989-), 男, 江苏常州人, 研究方向为自动控制; 曹云峰, 硕士, 研究方向为无人机飞行控制与导航。

量,通过记录这些 PWM 信号即可。本系统采用 PIC18F2525 单片机自带 2 路 CCP 模块捕捉 PWM 波的占空比,将得到的数据经过计算机处理即可得到总距及升降舵输入量^[10,11]。

考虑到微小倾转旋翼机的承载能力有限,俯仰角速率的测量采用美国模拟器件公司生产的集成 MEMS 技术的角速率传感器 ADXRS300,垂向加速度的测量采用单轴加速度计 ADXL150。

系统工作过程中的信号采集流程如图 2 所示。

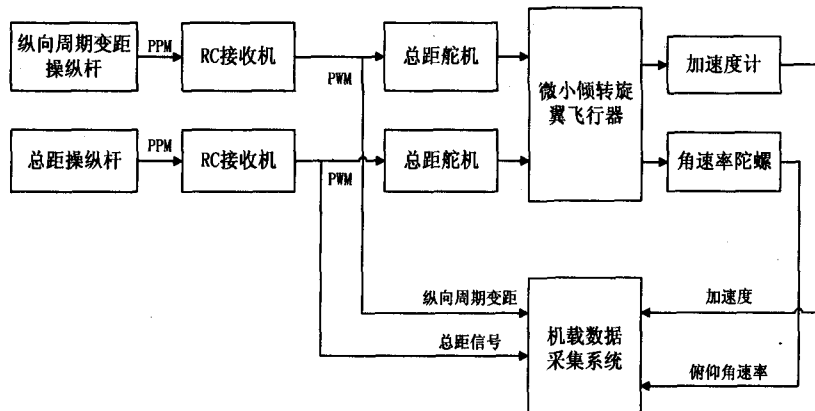


图2 信号采集流程图

另外, PIC18F2525 内部 RAM 数据存储器的存储容量为 3968 字节。根据辨识建模的需要,数据采集频率选为 50Hz,每次采集结果最多占用 6 个字节,可估算出最大采集时间为 13s 左右。而实际采样时间长度为 40s 左右, PIC18F2525 内部 RAM 的存储容量不满足要求。为此选取 32k 容量 24LC256 E²PROM 为外扩存储器,当 RAM 存满后将一个周期的数据存到 24LC256 中。

2 系统硬件设计

2.1 系统总体结构

基于 PIC18F2525 的微小倾转旋翼飞行器辨识建模系统由角速率传感器、遥控操纵输入和加速度传感器将信号采集送入 PIC18F2525 的 A/D 通道进行数据转换,经过处理后的数据存储于 24LC256 芯片中,或送入 PC 机中处理。

遥控发射器发出的遥控信号经机载 RC 接收机接收,转换为 PWM 信号驱动舵机。

本系统实行模块化设计,共包含四大模块,分别为数据采集及转换模块、PWM 信号捕捉模块、存储模块和串行通讯模块。其中数据采集与转换模块用于采集角速率信号及加速度信号并进行 A/D 转换,捕捉模块用于捕捉遥控操纵信号,存储模块用于记录采集的原始数据,串行通讯模块用于将数据发送到上位机处理。由于 PC 机的串口为标准 RS232 电平,而我们设计的

采集系统输出电平是 TTL 电平,二者不匹配。为了实现通讯,需要使用电平转换芯片 MAX232 进行电平转换。

2.2 PIC18F2525 单片机的性能简介

PIC18F2525 单片机是美国微芯 (Microchip) 公司推出的高档产品,时钟可以达到 40MHz,指令最快执行速度可以达到 40MIPS,针对我们设计的数据采集系统, PIC18F2525 具有如下优点:第一,带有三个 16 位定时器,可以方便地用以记录数据和定时;第二,带有 2 个 CCP 捕捉模块,可以同时捕捉 2 路 PWM 信号,而且精度是 16 位的,符合本系统的要求;第三,片内集成 USART 模块,方便与上位机进行通讯;第四,片内集成 10 位 A/D 转换模块,可以避免外接 A/D 转换模块,减轻系统重量。

2.3 ADXRS300 角速率传感器

由于普通微小型无人机各个方向的角速率最大变化不超过 300°/s,因此角速率传感器选择了动态测量范围为 ±300°/s、集成 MEMS 技术的单片速率传感器 ADXRS300^[12]。

ADXRS300 采用 +5V 电源供电,灵敏度为 5 mV/(°/s),零位输出电压为 2.5V。采用 BGA-32 封装技术,外围尺寸为 7 mm * 7 mm * 3 mm,重量仅为 0.5 g。

设被测量的角速度为 q , 单位为 (°)/s; 输出电压为 U , 单位为 mV; 灵敏度 K 为 5 mV/(°/s), 零位输出电压为 2.5V, 则输出电压的计算公式为:

$$U = 2500 + K * q$$

2.4 ADXL150 单轴加速度计

ADXL150 是美国模拟器件公司生产的基于 MEMS 技术的单轴微加速度传感器。ADXL150 测量零位输出偏置电压为 $U_s/2$, 范围为 ±50g, 灵敏度系数为 38 mV/g, 非线性度 0.2%, 零加速度漂移为 0.2 g; 4 ~ 6V 供电均可工作; 功耗很低, 静态电流只有 1.8 ~ 3.5 mA。

设被测量的加速度为 a , 单位为 g; 输出电压为 U , 单位为 mV; 灵敏度为 K , 单位为 mV/g; 电源电压为 $U_s/2$, 单位为 mV, 则输出电压的计算公式为:

$$U = \frac{U_s}{2} - K \times \frac{U_s}{5000} \times a$$

2.5 24LC256 EEPROM

PIC18F2525 内部 RAM 数据存储器的存储容量为 3968 字节。根据辨识建模的需要,数据采集频率选为 50Hz,每次采集结果最多占用 8 个字节,采样时间长度为 20s 左右,可估算出需要的存储容量约为 8000 字

节, P18f2525 内部 RAM 的存储容量不满足要求。为此选取 24LC256 EEPROM 为外扩存储器, 当 RAM 存满后将一个周期的数据存到 24LC256 中, 系统采样时间可达到 10 分钟左右。

24LC256(E²PROM)采用 CMOS 加工工艺, 正常工作电压 $2.5 \leq V_{cc} \leq 5.5$, 存储容量为 32kB, 具有较强的抗干扰能力, 功耗低, 可断电保存数据 200 年以上, 擦写次数最少 10 万次, 过压保护电压大于 4000V。24LC256 遵守 2 线传输协议, 最大写周期为 5ms。

3 系统软件设计

3.1 系统软件流程

系统工作原理如下: 遥控发射器发出的遥控信号经机载 RC 接收机接收, 转换为 PWM 信号驱动舵机。在采集过程中, 将该 PWM 信号引入到 PIC 单片机的捕捉引脚, 测量其占空比。加速度计和角速率传感器的输出信号分别送入单片的 A/D 通道进行数据转换。先将捕捉到的舵机输入信号与 A/D 转换后的传感器数据存储在单片机 RAM 中, 若 RAM 存满, 则将数据存入外扩存储器。

软件设计流程: 单片机上电之后程序开始执行, 首先执行初始化程序, 包括 CCP 模块初始化程序, A/D 转换模块初始化程序, I²C 总线初始化程序。检测遥控指令信号, 若有遥控信号输入, 则执行数据采集部分: 首先通过 CCP 模块捕捉一个周期的 PWM 信号占空比, 并将该数据存放在 RAM; 然后启动 A/D 转换采集传感器信号, 将该数据存放在 RAM; 判断 RAM 数据是否存满, 若未存满, 则继续采集数据, 若已存满, 则将 RAM 中的数据存到 24LC256 中; 判断数据采集是否结束, 若否, 则返回继续采集数据, 若是, 则程序结束, 返回地面进行数据通讯, 将采集的数据传送到 PC 机。

图 3 为系统软件设计流程图。

3.2 PWM 信号占空比捕捉程序设计

程序设计思路:

把单片机的 CCP 模块设置为捕捉模式, 先把 CCP 设置为捕捉脉冲上升沿。当脉冲信号上升沿到来时, 触发 CCP 中断, 并在中断服务程序中记录下此时定时器 TMR1 寄存器中 16 位的值 T1; 然后把 CCP1 模块设置成捕捉脉冲下降沿, 记录当脉冲信号下降沿到来时 TMR1 寄存器的值 T2; 最后把 CCP 模块设置成捕捉脉冲上升沿, 再次记录脉冲信号上升沿到来时 TMR1 寄存器的值 T3, 这样就完成了 PWM 信号一个周期的测量。PWM 占空比 R 的计算公式如下:

$$R = \frac{T2 - T1}{T3 - T1} \times 100\%$$

特别需要注意的是, 2 次中断的时间间隔必须大

于 1 次中断服务的执行时间^[12], 否则如果在中断服务程序执行时又发生 CCP 中断, 就不能正常工作。捕捉模块中断程序代码段如下:

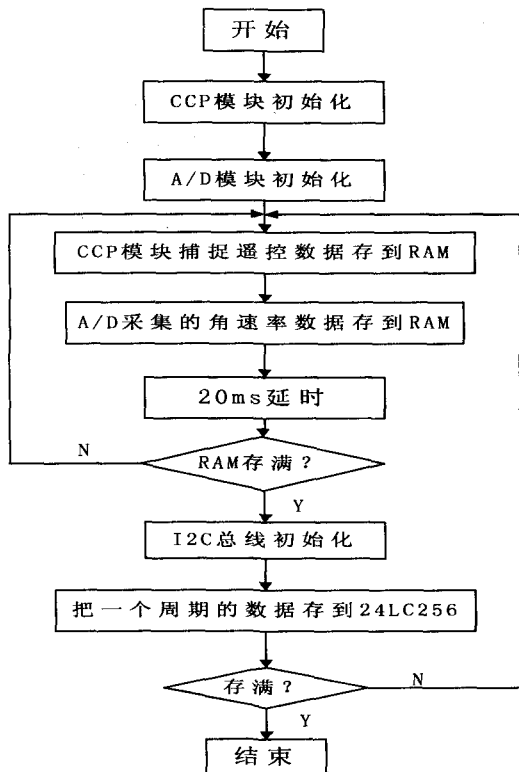


图 3 系统软件设计流程图

```
#pragma interrupt ccpint
```

```
void ccpint(void)
```

```
{
```

```
    PIR1bits.CCP1IF=0; //清除中断标志
    cplu.cple[0]=CCPR1L;
    cplu.cple[1]=CCPR1H;
    cplz[data]=cplu.y1; //存储 1 次捕捉值
    CCP1CON=CCP1CON'0x01;
    //把 CCP1 模块改变成捕捉相反的脉冲沿
    data++;
    COUNT--; //测量脉冲个数寄存器减 1
}
```

3.3 存储模块软件设计

在 PIC 单片机利用 I²C 总线模式的接口模块 MSSP, 建立与具有 I²C 总线接口的 EEPROM 24LC256 之间通信的过程中, 只要让 MSSP 模块工作于主控模式即可。

MSSP 模块工作在 I²C 模式时, 有两个引脚用于数据传输:

- 串行时钟(SCL) - RC3/SCK/SCL
- 串行数据(SDA) - RC4/SDI/SDA

用户必须通过 TRISC<4:3>位将这些引脚配置为输入引脚或输出引脚。

数据写入程序设计思路如下: 首先对 MSSP 模块

初始化,使能主控模式;调用写操作子程序,写入一个字节的数;判断数据是否发送完毕,若是,则程序结束;若否,则继续写入数据。

数据读取程序设计思路如下:首先对 MSSP 模块初始化,使能主控模式;调用读操作子程序,读取一个字节的数;判断数据是否读取完毕,若是,则程序结束;若否,则继续读取数据。

4 系统测试

通过精密低速角速率转台实验对系统进行了性能测试,证明系统工作稳定。实验过程如下:将系统安装在角速率转台上,给定一初始角速率指令,利用角速率传感器测量其实际角速率。

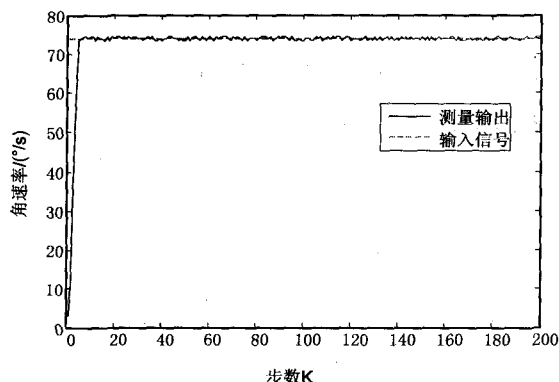


图4 角速率转台测量输出与实际输出

图4为经过处理后的转台测量角速率与实际给定角速率信号。根据实验结果可看出角速率测量输出与实际输出的误差在 $0.5^{\circ}/s$ 之内。证明文中设计的系统角速率数据的测量精度较高。

结合实验与分析,给出了辨识建模系统的性能参数,如下所示。

PIC18F2525 单片机参数设置如下:时钟频率为4MHz,定时器分频比为1:8,定时器宽度为16位。

系统性能参数如下:重量小于50g,供电电压为5V,容许在很大范围内变化,俯仰角速率分辨率为 $0.5^{\circ}/s$,垂向加速度分辨率为 $0.13g$,捕捉PWM频率范围为2~1000Hz,PWM占空比误差小于1%。

5 结束语

设计的微小倾转旋翼机辨识建模系统充分利用了

P18F2525 单片机内部集成的 CCP 模块和 A/D 模块,使得系统硬件电路设计简洁,软件实现方便。通过精密低速转台测速实验证明,系统工作稳定,精度可靠,实时性较好。

该系统能够进行飞行器输入舵偏信号(遥控操纵)和部分飞行姿态信号的采集,在微小型飞行器遥控飞行试验飞行数据采集中具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 杨喜立,朱纪洪. 倾转旋翼飞机建模与仿真[J]. 航空学报, 2006,27(4):584-587.
- [2] 凡永华,杨军. 倾转旋翼机过渡段最优飞行控制系统设计[J]. 飞行力学,2007,25(1):47-50.
- [3] Lesching A, Wagner S. Theoretical model to calculate aerodynamic interference effects between rotor and wing of tilt-rotors[C]//Presented at the 16th European Rotorcraft Forum. [s.l.]:[s.n.],1990.
- [4] Ulrich E R, Humbert J S. System Identification and Control of Mechanical Samara Micro-Air-Vehicles[M]. US: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2009.
- [5] Keller J A. Analysis and control of the transient aeroelastic response of rotors during shipboard engagement and disengagement operations[D]. US:Department of Aerospace Engineering, Graduate School, Pennsylvania State University, 2001.
- [6] 李建波,高正. 直升机机动飞行仿真的气动建模及试验研究[J]. 航空学报,2003,24(2):116-118.
- [7] 肖刚,卢京潮. 基于DSP的飞行数据采集系统的设计与实现[J]. 测控技术,2007,26(5):43-45.
- [8] Carlson E B. Optimal tiltrotor aircraft operations during power failure[D]. US:University of Minnesota, 1999.
- [9] Leishman J G. Principles of helicopter aerodynamics[M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2000.
- [10] 李春华,徐国华. 悬停和前飞状态倾转旋翼机的旋翼自由尾迹计算方法[J]. 空气动力学学报,2005,23(2):152-156.
- [11] 赵景根,高正,徐国华. 直升机旋翼/机身气动干扰的计算方法[J]. 南京航空航天大学学报,2000,32(4):369-374.
- [12] 牛徐明. 基于ARM与MEMS器件的微惯性测量系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2007(3):62-64.

(上接第241页)

设计[J]. 有线电视技术,2008(12):54-56.

- [11] Li Zhen-guo. The Development and Application of Access Network Technology[J]. Journal of Datong Vocational College, 2006(3):76-81.
- [12] WANG Ying-lai. The Application of EoC Technology which

Based on Homeplug AV in Xinjiang Radio and TV Two-way HFC Network Conversion[J]. China Digital Cable TV, 2009(7):24-26.

- [13] 廖志强. HFC网络双向改造最后100m接入方案对比分析[J]. 中国有线电视,2008(2):161-163.