

基于 MSP430 的舵机控制系统设计

张建鹏, 刘世前, 敬忠良

(上海交通大学 航空航天学院, 上海 200240)

摘要: 提出并实现了一种以 MSP430F149 单片机为硬件核心的某小型无人机舵机控制系统, 描述了系统的功能及硬件结构配置, 给出了实时控制软件的功能模块及算法和流程图, 并着重指出在软件实现过程中应注意的关键问题。实验结果表明此设计符合飞行控制器的实时性控制要求, 可靠性高, 具有广泛的应用价值。

关键词: 无人机; 舵机; MSP430F149; 飞行控制

中图分类号: TM275; TM381

文献标志码: A

文章编号: 1001-6848(2010)01-0046-04

Design of Servo Control System Based on MSP430

ZHANG Jian-peng, LIU Shi-qian, JING Zhong-liang

(School of Aeronautics and Astronautics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: The servo control system of one small UAV, which includes detailed function and architecture and presents software blocks, arithmetics and flowcharts, employs microcontroller MSP430F149 as its core hardware. The system fixes mainly on key issues of software designing process. Tests show that the system meets the trend of real-time and high reliability with the most potential value.

Key Words: UAV; Servo; MSP430F149; Flight control

0 引言

无人机是一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器的简称。在无人机系统中, 采用 PWM 波信号控制的舵机是重要的执行机构, 它是无人机控制动作的动力来源。为便于系统扩展和升级^[1,2], 在飞控系统中往往采用分布式策略, 将舵机的控制部分作为一个独立单元进行设计, 称为舵机控制系统。

传统产生 PWM 波的方法是通过大量的分立原件来实现的, 所产生的脉冲频率和宽度往往不是很准确, 很难做到对舵机的精确控制。另外, 利用 CPLD 或 FPGA 产生 PWM 波已在很多场合得到应用, 依靠 CPLD 或 FPGA 特有的并行处理能力和大量的 I/O 接口, 可以同时控制几十甚至上百个舵机同时工作, 但 CPLD 或 FPGA 生成 PWM 波时, 并不具备事务处理能力, 实际应用中还需要 MCU 配合工作, 加之成本高, 开发设备昂贵, 极大的

限制了它的应用范围。

由于单片机具有性能稳定、编程灵活、精度高、价格低廉等特点, 用它产生 PWM 波在实际中得到了广泛应用。本文给出了一种新颖的利用 MSP430 单片机利用自带的定时器产生 PWM 波^[3,4]的方法, 成本低, 性能稳定, 并成功应用于实践。

1 总体介绍

飞行控制系统总体框架如图 1 所示, 整个飞控系统是由飞控计算机、舵机控制系统、传感器系统、GPS、机载电源及地面站系统组成。在飞行过程中, 无人机一方面通过传感器系统和 GPS 获得飞行姿态和航向的实时参数, 并通过无线电传回地面; 另一方面随时接收地面上传的遥控指令。以这些信息为基础, 经过主控计算机控制律解算, 按照一定协议输出控制指令到舵机控制系统^[5,6], 再经由舵机控制系统输出相应的信号控制舵机的偏转, 从而实现对无人机飞行姿态的控制。

收稿日期: 2009-04-25

修回日期: 2009-06-25

基金项目: 国家航空联合基金资助项目 (10577012)

国家自然科学基金资助项目 (60674107)

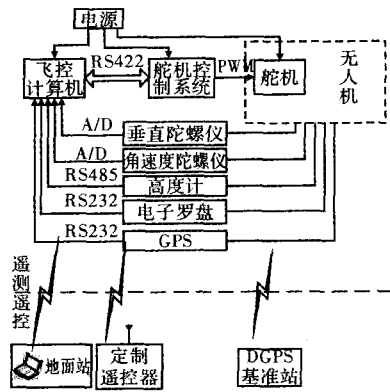


图1 飞行控制系统总体框架

2 舵机控制系统硬件设计

2.1 系统硬件结构

由于无人机采用燃料电池作为能源，所以要求机载设备尽可能功耗低、体积小、重量轻，这样既可以降低损耗又能提高系统稳定性和抗干扰能力。基于以上思想，设计了以TI公司的MSP430F149单片机^[7-9]为核心的舵机控制系统，该系统主要由CPU控制单元、串口通信单元、脉冲信号处理单元、电源等硬件电路组成，系统结构如图2所示。

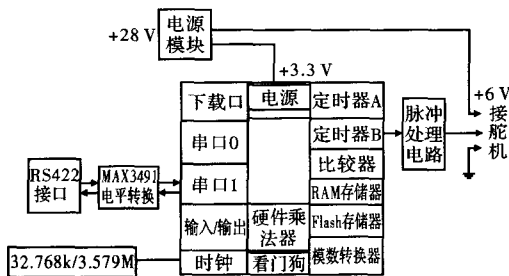


图2 舵机控制系统结构

2.2 舵机简介

1) 舵机的构造与工作原理

舵机主要是由外壳、小型直流电动机、减速齿轮、位置检测器和控制电路板所构成。其工作原理如图3所示，其中，直流电动机作为驱动器产生动力源^[10]，运动由减速齿轮减速，传递给输出轴和舵盘，在输出轴后端连接有电位计，用以检测当前位置，并将此值与驱动信号端口发送来的位置信号进行比较，通过控制电路，将差值放大并由电机执行操作，实现位置伺服^[11]。

2) 舵机的控制

舵机是无人机飞行控制的执行机构，也是本系统的控制对象，无人机一般装备有5个舵机，分别用来控制油门、副翼、升降舵、螺距和尾舵^[12]。标准的舵机由一个宽度可调的周期性方波脉冲信

号即PWM波控制，以本系统采用的日本Futaba公司生产的S3003舵机为例，其脉冲周期为20ms，中心脉宽为1.5ms，对应0°，调节范围为±1ms。当方波的脉冲宽度改变时，舵机转轴角度相应发生-90°到90°内的线性改变，并通过连杆拉动舵面运动，从而控制无人机的飞行姿态，舵机输入脉冲与舵偏角的对应关系如图4所示。

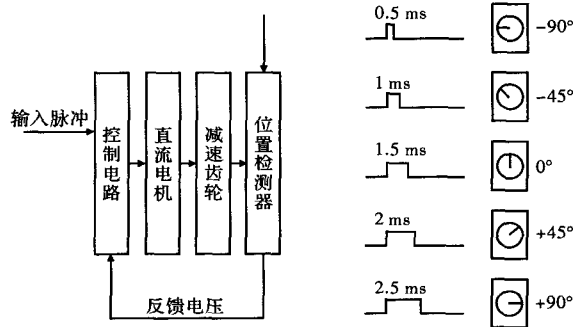


图3 舵机工作原理

图4 脉宽与舵偏角关系

3 舵机控制系统软件设计

3.1 可调PWM信号的实现

1) PWM信号的产生

由舵机的工作原理可知，要实现对舵机的控制，实际上就是能给它提供一个可控制的PWM信号。本系统所需的PWM信号是由单片机定时器B的时钟模块产生，该时钟模块有4种计数功能选择及8种输出方式选择，采用增计数模式和翻转/复位的输出方式，图5为此种组合模式下的示意图，由图可知，利用TB0的TBCCR0值作为计数周期，TB1~TB5的TBCCR1~TBCCR5值作为计数值，当计数达到TBCCR_x(x取1~5)值时，输出信号进行翻转，达到TBCCR0值时输出信号进行复位，从而可以方便的设置所需占空比的PWM信号。

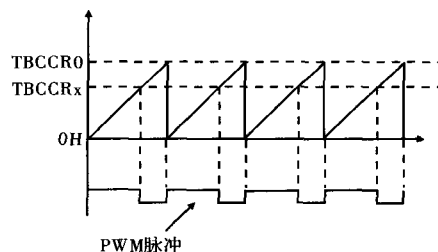


图5 增计数模式下的PWM输出示意图

2) 通信协议与PWM信号的关系

传统的舵机控制器通信协议帧通常采用舵机编号加数据的方式，每帧数据只能控制一个舵机，大大降低了通信的效率。本系统中每帧数据由16字节组成，其中包括帧头占两个字节、目的设备

ID、数据位及校验和。帧头和校验和用于识别出数据帧并检查数据是否正确；目的设备 ID 用于标示舵机控制板(与之匹配的主控计算机板可连接多块舵机控制板以增强兼容性和可扩展性)；中间 12 个字节的数据位用于同时解算舵机的偏角，其中每个舵机占 2 个字节，极大的提高了数据帧的利用效率，因此，MSP430F149 的定时器 B 可输出多达 6 路 PWM 波。

具体算法如下：

(1) 首先定义一个将两个字节的十六进制数变为有符号整型的函数 `i16Bits2Int(uchar ch1, uchar ch2)`，在其中定义一个 union 类型的变量 `itmp`，然后通过赋值 `itmp.ch[1] = ch1; itmp.ch[0] = ch2`；最后返回一个 int 型变量 `si`。

(2) 接下来利用前面自定义的函数实现 5 路角度的解算，部分代码如下：

```
iCommPos[0] = i16Bits2Int(cRxFmCont[1], cRxFmCont[2]);
iCommPos[0] = iCommPos[0] * 0.002747; // 0.002747 prices
iCommPos[1] = i16Bits2Int(cRxFmCont[3], cRxFmCont[4]);
iCommPos[1] = iCommPos[1] * 0.002747; // 0.002747 prices
.....
```

(3) 在 `PwmOut()` 函数中进行解算的角度到 `TBCCRx` 值的转化，通过精确计算，本系统中计数周期 `TBCCR0` 值为 8947，有效脉冲宽度 `TBCCRx` 设置范围为 223 ~ 1118，零位对应 671，则通过 `tmp[idx] = 671 + iCommPos[idx] * 4.9722` 实现角度到寄存器值的映射。

(4) 最终通过循环赋值实现捕获比较寄存器 `TBCCRx` 值的更新。

```
TBCCR1 = tmp[0]; TBCCR2 = tmp[1];
.....
```

3.2 主体程序

如图 6 所示，本系统的主体程序是在嵌入式 IAR Embedded Workbench EW430 开发环境中实现，主要包括系统初始化模块、定时处理模块和串口中断处理模块。其中，初始化模块主要包括系统时钟、端口、定时器等初始化；定时处理模块主要是利用定时器 A 的计数定时功能来实现看门狗清零、PWM 输出及系统检测等功能，采用类似于嵌入式实时操作系统的时间片轮转任务调度方

式；串口中断处理模块用来接收飞控计算机发送的协议帧，并进行相应的处理。

3.3 串口通信

串口通信模块采用中断方式接收飞控计算机按照协议格式发来的控制信号，然后将数据存入预先定义好的 16 字节的数组，由解帧封帧模块提取出各舵机通道的指令控制量。数据格式为 8 位数据位，1 位停止位，无校验位，波特率要求为 19200 bps。需要注意的是，由于利用 32.768 kHz 的低频晶振无法达到飞控计算机要求的 19200 bps 波特率，故串口初始化程序中采用 3.579 MHz 的高频晶振，通过设置 `U0BR0`、`U0BR1`、`UMCTL0` 三个寄存器的值分别为 `0xBA`、`0x00`、`0x90` 来实现 19200 bps 的波特率。一旦串口接收到数据时，就会进入串口中断服务程序，中断接收流程如图 7 所示。

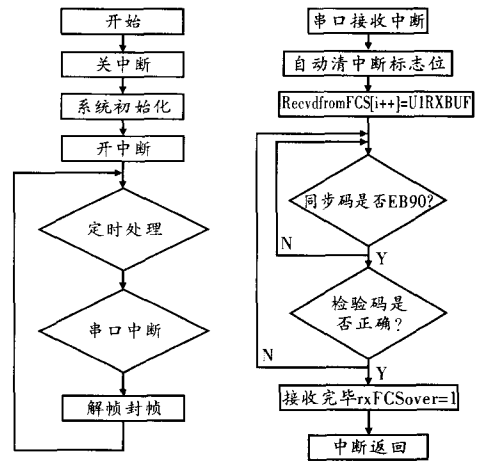


图6 主程序流程 图7 串口中断接收流程

需要说明的是，传统的舵机控制系统在接收到指令后仅进行 PWM 信号的解算，而未考虑到实际调试过程中可能出现的问题。出于全面性考虑，本系统采用“帧封装”设计。所谓“封帧”就是串口每接收到一帧数据就按照通信帧协议将数据打包，返送回飞控计算机或调试用的上位机，主要是为方便系统调试以判断串口通信正常与否；所谓“解帧”就是在保证接收到的通信帧数据完整的前提下，完成协议帧到 PWM 信号的解算。

4 实验

4.1 通信测试

为方便调试，采用 PC 机上的“串口调试助手 V2.2”模拟无人机飞控计算机通过 RS422 串口遵照帧协议每隔 1 秒定时向舵机控制系统发送指令，根据前面所述的封帧模块，舵机控制系统会将接收

到的数据按照帧协议打包发送给飞控计算机, 作为响应。测试界面如图 8 所示, 图中反馈信息显示在接收字符区, 而控制命令显示在发送字符区, 系统响应及时, 实时性强, 而且不存在数据丢失或误码现象。



图 8 串口通信测试界面

4.2 波形稳定性测试

图 9 为利用示波器测得一路 PWM 输出波形, 可以看出实际输出的 PWM 波形稳定, 杂波极少, 符合系统预设要求。

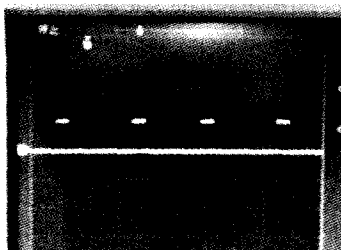


图 9 输出 PWM 波形

4.3 波形跟踪精度测试

利用自制的舵机测试软件对某一通道进行正弦跟踪拟合后的曲线如图 10 所示, 其中横坐标代表时间(测试频率取 0.1 Hz), 纵坐标代表角度, 绿色曲线代表舵机的理论偏转角, 黄色曲线代表舵机的实际偏转角, 红色曲线代表误差, 经实际测算, 误差能有效控制在 0.1% 之内, 跟踪性能良好。

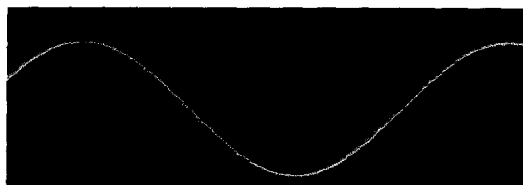


图 10 跟踪拟合曲线

5 结语

本系统的优点有: 1) 基于分布式策略思想设计舵机控制系统, 有利于飞控系统的扩展与升级。2) 串口通信采用“帧封装”设计, 增加了嵌入式系统“黑匣子”的透明度, 极其方便调试。3) 克服了传统通信协议每帧指令控制一路舵机的缺陷, 本系统每帧数据同时控制六路舵机, 极大的提高了通信效率。4) 软件设计基于时间片轮转调度思想, 提高了代码执行效率, 使得系统的实时性显著增强。5) 产生的 PWM 信号稳定, 精度高, 电机的抖动和互扰现象明显减弱, 非常有利于无人机在高空执行任务。

经过调试, 该硬件平台各项功能均达到设计目的, 经多次试飞, 稳定可靠, 完全满足要求, 同时表明该方案是一种适用于小型无人机的经济可靠的方案。

参考文献

- [1] Jonathan M. Roberts, Peter I Corke, et al. Low-cost Flight Control System for a Small Autonomous Helicopter [C]. Auckland Proc. 2002 Australasian Conference on Robotics and Automation, 2002: 27-29.
- [2] V. Gavrilts, A. Shterenberg, I. Martinos, et al. Feron Avionics System for Aggressive Maneuvers[J]. IEEE Aess Systems Magazine, 2001, (9).
- [3] 付丽, 刘卫国, 伊强. 单片机控制的多路舵机用 PWM 波产生方法[J]. 微特电机, 2006, (2): 28-33.
- [4] 程利民, 徐付强, 赵金. 全数字直流脉宽调速与伺服系统设计[J]. 微电机, 2008, 41(11): 93-95.
- [5] 解恩, 贺虎成, 侯红胜, 等. 基于 485 总线的多无刷直流电机控制设计与实现[J]. 微电机, 2009, 42(2): 71-73.
- [6] 董荔宁, 严卫生, 杨立. 基于 ARM 的自主水下航行器舵机控制系统研究[J]. 微电机, 2006, 39(6): 71-73.
- [7] MSP430X14X Mixed Signal Microcontroller [M]. Dallas: Texas Instruments, Inc., 2003.
- [8] 李良, 张小超, 王辉, 等. 用 MSP430 实现无人机舵机控制器设计[C]. 北京: 中国农业工程学会 2005 年学术年会论文集, 2005: 308-311.
- [9] 曹菁, 张新华, 朱纪洪. 基于 MSP430 的稀土永磁无刷直流电机控制系统[J]. 微电机, 2005, 38(5): 34-37.
- [10] 赫晓明, 唐永哲. 无刷直流电动机控制系统的设计及应用研究[J]. 微电机, 2007, 40(1): 66-67.
- [11] 赵杰, 郭亮, 姜健, 等. 应用于六足机器人平台的舵机控制器设计[J]. 机械与电子, 2005, (9): 48-51.
- [12] A Highly Integrated UAV Avionics System [M]. Cloud Cap Technology, 2003, (4).

作者简介: 张建鹏(1985-), 男, 硕士, 研究方向为飞行器控制。