

## 基于 STM32 的无人机飞行控制系统设计

肖远鹏

(中国电子科技集团公司第二十七研究所 河南省郑州市 450047)

**摘要:**本文采用功能强大的 STM32H753 为处理器,集成组合惯导、电源管理、传感器等形式成单独板卡构成航电系统完成飞行控制、数据采集和机载供电,并给出硬件设计、软件设计及仿真设计的思路和方案。

**关键词:**飞行控制;无人机;STM32H753;单独板卡

当代航空航天事业蓬勃发展,随着 5G、半导体、传感器等高新技术的发展,无人机发展也得到了科技的浸润和推进,在军事、民用、电力等很多行业广泛应用。无人机的种类也不仅有固定翼和传统直升机的形式,随着智能化的发展,复合翼、多轴旋翼、矢量控制等多种机型相继涌现。无人机的飞行控制系统一般包括以处理器为核心的飞控计算机、机载传感器和伺服执行机构等,实现无人机任务设备管理、信息采集和姿态稳定控制、导航信息计算和制导及应急管理控制等功能。越来越多的科研人员或在校师生对无人机飞控系统展开研究和试验工作,文献<sup>[1]</sup>设计了一种双 DSP 作为主控制器的无人机飞行控制系统的软件,将数据计算和控制飞行姿态分开,提高计算和控制效率;文献<sup>[2]</sup>基于 C8051F120 单片机和 USOS 嵌入式实时操作系统,采用 PID 控制率实现姿态控制,实现了无人机的轨迹控制。文献<sup>[3-6]</sup>都是以 STM32 系列处理器为核心,在硬件、软件、算法或仿真一个方向进行深耕。文献<sup>[7]</sup>采用 STM32F427VIT6 作为主控芯片,引入 freeRTOS 实时操作系统,实现任务调度,采用无线控制芯片 nRF24L01+ 实现飞行器和遥控端的数据交互,实现了一种有效控制距离约 80 米的控制系统。文献<sup>[8]</sup>以 STM32F103ZET6 控制器为核心硬件,采用自适应算法融合多传感器,实现航模的远程控制和稳定飞行。

我单位现有小型特种作战系列固定翼无人机、海燕系列无人机、靶机等无人机系统,也有四、六、八等多旋翼无人机系统;每个机型都有其对应的飞行控制系统,但每套飞控的设计、研制、试验等工作需消耗大量的人力物力,针对此情况,设计一套可以适用于现有机型且可扩展的飞行控制系统迫在眉睫。本文采用主流、货源稳定且功能强大的 STM32H753 为处理器,集成电源管理模块、组合惯导及空速传感器,以单独板卡构成航电系统完成飞行控制和机载供电,采用合理的飞控软件架构,进行模块化设计并分类飞控参数,为研制多机型通用性飞控系统提供新的思路和建议。

### 1 系统组成与工作流程

#### 1.1 系统组成

飞控计算机包括硬件板卡、控制软件与组合惯导三个部分。硬件板卡是控制软件的载体,共同完成飞行控制律解算、传感器数据采集、舵机指令发送、遥控数据接收、遥测数据分发、任务载荷指令转发、飞控参数存储等功能。组合惯导完成陀螺仪、加速度计、定位模块、动静压传感器等的数据采集和融合,解算出无人机的三维位置信息与姿态参数。

#### 1.2 工作流程

飞控计算机采集组合惯导给出的三维位置数据并解算用于飞机的导航,结合预先装订的航点航线,根据导航公式计算输出引导控制指令,引导飞机按既定航路飞行;引导控制指令和俯仰角、滚转角、航向角、空速、气压高度等数据用于飞机的飞行控制律解算。解算后的数据根据配置好的飞机类型与该类型飞机的飞行阶段和对应的飞行控制解算公式,输出控制指令驱动执行机构,分别控制副

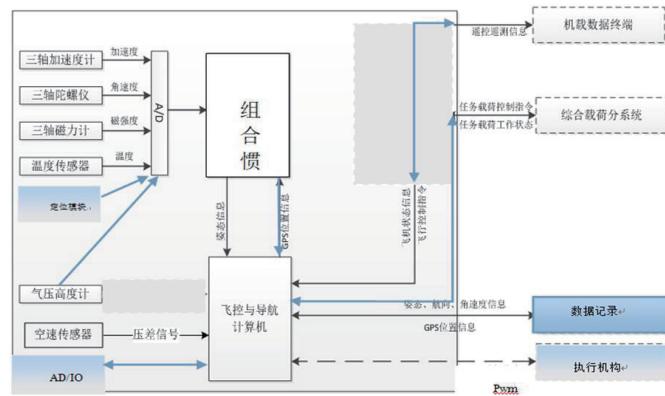


图 1: 系统信息流程图

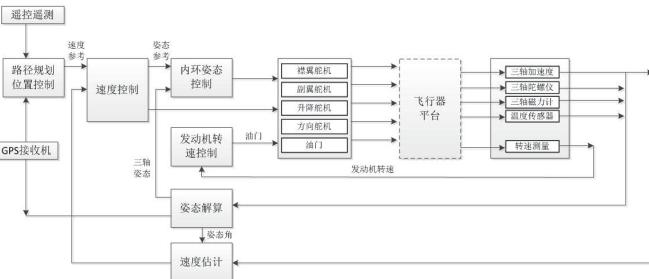


图 2: 控制回路结构和信息流程图

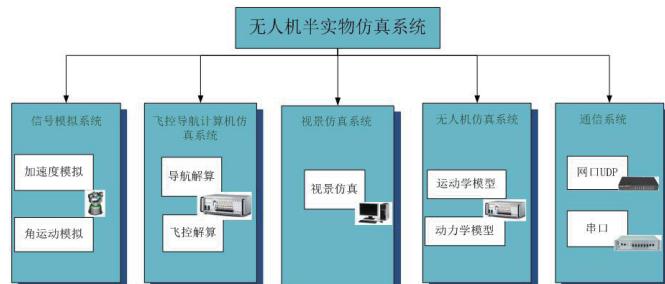


图 3: 半实物仿真系统组成

翼、升降舵、方向舵的偏转角度或电机、发动机的转速,实现自动飞行控制。飞控计算机根据航路数据中的任务载荷控制指令或机载数据终端发来的任务载荷控制指令,发出相应的指令对任务设备进行控制。同时飞控计算机收集任务设备的工作状态数据和传感器组件采集的飞行参数、导航参数和其他设备工作数据,将其组帧后由机载数据终端发送回地面,便于地面对飞机的飞行状态和设备工作状态进行监控和操控。

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 架构设计

本文使用的 STM32H753 是一个功能非常强大的处理器平台，它基于 Cortex®-M7 架构内核，带双精度浮点单元，运行频率高达 480MHz，能够提供无与伦比的处理速度。

硬件通用性是以丰富的接口资源与运算能力为基础的。STM32H753 处理器包含多达 35 个通信接口（除了 4 个 UART 之外，还有 4 个运行速度达到 12.5 Mb/s 的 USART 接口、1 个低功耗 UART、6 个 100 Mb/s 的 SPI 接口，4 个带有新型可选数字滤波功能的 1 MHz I²C 接口、2 个 FD-CAN、2 个 SDIO、带片上 PHY 的 USB 2.0 全速设备 / 主机 /OTG 控制器和 1 个 USB2.0 高速 / 全速设备 / 主机 /OTG 控制器、片上全速 PHY 和 ULPI、以太网 MAC、SPDIF-IN、HDMI-CEC、摄像头接口、单线协议接口和 MDIO 从接口。模拟部分包括 2 个 12 位 DAC、3 个达到 16 位最大分辨率 (3.6 Msample/s) 的快速 ADC 以及 22 个 16 位及 32 位定时器（16 位高分辨率定时器的运行频率高达 400 MHz），可扩容并且支持 Compact Flash、NAND、SRAM 和 SDRAM 等存储器，也可以利用双模 Quad-SPI 从外部串行 Flash 执行代码。接口完全满足目前拥有的绝大部分无人机的需求。

## 2.2 接口设计

从板卡引出多路 pwm 输出、IO 输入输出、422/485/232 串口、sbus、can 总线、pwm 输入、I2C 总线、ad 采集等接口，涵盖了目前无人机机型的全部应用接口；12~36V 宽压输入，对外提供 12V/5A、5V/8A 供电输出、IO 控制电压输出、继电器输出等接口，涵盖基本无人机机载常用电源，并提供足够的功率输出。

## 2.3 信息流程

飞控系统的信息流程如图 1 所示。

按照串级控制法，无人飞行器的控制回路从里到外分别为：阻尼增稳控制回路、姿态闭环控制回路、航线规划与航迹控制回路，还有独立的发动机转速闭环控制回路，各个回路的结构和信息流程如图 2 所示。

## 3 软件设计

### 3.1 总体设计

飞控软件包括数据采集和通讯、控制算法、导航算法、数据存储及应急策略等部分，几个部分相对独立，在设计中将通用程序与不同机型无人机使用的外围程序文件分离，建立标准化接口文件与接口数据，文件的增减或内部改动不影响整个软件的正常使用。为了飞控软件容易开发及便于维护，采用 RTOS（嵌入式实时操作系统）为运行环境，隔离飞控硬件板卡和飞控软件，为设备提供统一的驱动和接口，同时具备任务管理、任务及中断间的同步与通信机制、内存及中断管理等功能，大大提高了无人机飞控系统的稳定性。

### 3.2 架构设计

飞控软件是整个飞控系统的核心内容，影响到无人机飞行任务执行的质量及整个无人机系统的性能，是实现飞控系统功能的主要支撑。无人机飞控系统具有功能多、信息吞吐量大、逻辑时序关系复杂和实时性要求高等特点，这些特点也是设计、开发、调试、测试的难点所在。软件的可靠性对整个飞控系统的可靠性至关重要，确保软件的可靠性和功能的正确性、完备性，是飞控系统软件设计与开发的主要思想。

在飞控软件设计中，遵循软件工程规范，采用模块化的软件结构以保证软件的质量和软件的可维护性，采用实时多任务设计技术以解决实时多通道任务进程调度、异步 / 并发事件处理、时间 / 资

源冲突等问题，并采用关键信息（如飞控系统状态信息）的余度技术以确保在软件故障情况下根据关键信息数据实现基础功能的正常运行状态，开展充分的软件测试确保飞控软件功能的完整性和正确性。

## 4 半实物仿真系统设计

无人机仿真系统利用 simulink 建立无人机微分状态方程，搭建无人机数学模型，采用自动代码生成软件生成实时仿真机运行代码，进行无人机运动学、动力学的解算，输出无人机位置、速度和姿态信息。代码生成与编译控制软件，支撑了模型到代码下载的自动化过程，实现了将模型到仿真机的一键下载，为试验的进行提供了极大的便利，半实物仿真系统的组成如图 3 所示。

仿真系统各个模块的功能是：

(1) 信号模拟系统：根据收到的驱动数据，模拟生成飞控导航计算机传感器需要接收到的卫星导航信号、载体角度运动信号以及载体加速度运动信号。

(2) 飞控导航计算机仿真系统：接收无人机仿真系统的输出，进行无人机飞控导航解算，并将计算结果输出给后端系统。

(3) 视景仿真系统：通过网络实时接收飞机仿真解算出的三维位置姿态数据，并实时显示无人机的飞行姿态和航迹。

(4) 无人机仿真系统：采集接收飞机的舵机输出量，通过运动学模型进行解算，输出无人机的位置和姿态信息数据。

(5) 通信系统：完成各分系统之间的数据传递，主要通过串口和网口两种方式传输。

## 5 结语

飞行控制系统是整个无人机系统的关键组成部分，是无人机完成起降和飞行的大脑中枢，本文针对单位现有无人机机型，集成处理器、电源管理、惯导和传感器为硬件模块，分类飞控参数设计软件模块，提出一种无人机飞行控制系统设计思路和方案；虽然距离完整实现还有很长路要走，但也为研制多机型通用性飞控系统提供了新的思路和建议，具有较大的工程意义且合理可行。

## 参考文献

- [1] 倪原, 刘琦等. 基于双 DSP 的某飞行器飞行姿态控制系统的软件设计 [J]. 西安工业大学学报, 2015, 35 (1).
- [2] 陈杰, 陈超. 基于 RTOS 的小型无人机飞行控制系统 [J]. 电子技术应用, 2009 (4).
- [3] 徐信, 陈聪. 基于 STM32 的无人机飞行器设计 [J]. 信息通信, 2018 (12).
- [4] 钱昊, 许森, 陈友荣. 基于 STM32F103 的四旋翼无人机控制器设计 [M]. 浙江树人大学学报, 2016 (12).
- [5] 杨磊. 基于 STM32 的小型无人机飞行控制系统设计 [D]. 东北农业大学, 2016 (6).
- [6] 李朋轩, 邬松杉等. 基于 STM32 的四旋翼飞行器飞行控制板设计 [J]. 无线互联科技, 2017 (17).
- [7] 杨才广, 姚志兴等. 基于 STM32 无人机飞行控制系统 [J]. 电子世界, 2019 (1).
- [8] 李奇, 钱小瑞等. 基于 STM32 的航模控制系统设计 [J]. 电子制作, 2014 (3).

## 作者简介

肖远鹏，男，硕士研究生，中国电子科技集团公司第二十七研究所防务系统部工程师，主要从事无人机飞行控制专业的相关研究工作。