

文章编号: 2095-2163(2020)10-0095-03

中图分类号: V249.2

文献标志码: A

# 基于 FPGA 的四轴旋翼控制系统

贾明俊, 陆安江, 卢学敏, 唐鑫鑫, 黄文华

(贵州大学 大数据与信息工程学院, 贵阳 550025)

**摘要:** 随着 21 世纪的到来, 无人机已经成为了一个热门研究方向。本文结合 FPGA 的在通信传输方向的优势, 设计一种新形式的无人机飞控, 利用 FPGA 硬件描述语言编写飞控核心, 将线性控制、PID 控制、反馈控制等现代控制理论应用于无人机四轴启动控制系统中。控制系统既有正输入控制, 又有反馈控制, 实际测量基本满足设计要求。

**关键词:** FPGA; 现代控制; 飞控; 无人机

## FPGA-based four-axis rotor control system

JIA Mingjun, LU Anjiang, LU Xuemin, TANG Xinxin, HUANG Wenhua

(College of Big Data and Information Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**[Abstract]** With the advent of the 21st century, drones have become a popular research direction. My research purpose is to design a new form of drone flight control. In the development of drones, FPGA applications have always been Popularity attracts developers to work hard to create. This article combines the advantages of FPGA in the communication transmission direction, uses FPGA hardware description language to write the flight control core, and then applies modern control theories such as linear control, PID control, and feedback control to drones. Axis start control system. The entire control system has both positive input control and feedback control. Finally, the actual measurement basically meets the design requirements.

**[Key words]** FPGA; Modern control; Flight control; UAV

## 0 引言

无人机飞控作为无人机的核心组件是至关重要的, 目前在飞控领域大都使用 STM32 的架构设计的飞控, 此类飞控具有算法通用, 成本低廉的优势, 但是相对于高精度以及高稳定的要求的场景, 此类飞控还不能完全满足需要。传统的经典控制, 单入单出(siso)、线性, 时不变的。相对于传统控制理论学, 现代控制理论是复杂的, 紧密的, 是自动控制理论的重要组成部分, 它的理论基础是状态空间行为。在现代控制理论中, 通常采用时域法去阐述系统的状态变量而完成控制系统的分析和设计<sup>[1]</sup>。

## 1 基本控制原理

(1) 智能控制。人工智能和自动控制的结合就是智能控制。其能独立控制智能机器并实现其目标的自动控制。任务设置和模型创建的过程是智能控制的核心, 特别关注符号及其环境的识别和知识库以及推理的设计和开发, 而非数学公式的表述、计算和处理。为了达到让被控对象以预定要求完成任务的目的, 以采用 ai 控制、电脑系统模拟行业之前积

累的经验, 从而创造相对宽泛的知识模型, 应用于符号信息处理、开发编程、知识描绘、自学习等智能技术, 通过系统过程进行理解、判断、预测和规划来论证与决策<sup>[2]</sup>。

(2) 非线性控制。非线性控制一直以来作为复杂控制理论的巨大挑战之一, 其发展的过程借鉴了线性控制。数学工具的局限性导致非线性系统的发展不是特别快速, 如泰勒级数展开在很多情况下难以适应自身要求。经典理论中的相级方法仅适用于二阶系统, 非线性单元的高阶系统使用描述函数方法作为一种近似方法。对于非线性系统中系统研究等发展困难, 反观综合方法的使用得到了强有力的发展。

(3) 自适应控制。自适应控制系统在确定所需的控制性能指标, 自动的改变设备结构和参数以适应环境的变化前, 需要不停地测量系统的输入、状态、输出或功率参数, 参照接收到的信息, 依据一定的设计方法逐步地理解和捕捉对象。

(4) 鲁棒控制。在控制过程中需要考虑的一个

**基金项目:** 贵州省科技重大专项(黔科合重大专项字[2016]3022号); 贵州省科技成果转化项目(黔科合成果[2017]4856); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2031)。

**作者简介:** 贾明俊(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: FPGA 应用及嵌入式开发; 陆安江(1978-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 光电电子技术应用。

**通讯作者:** 陆安江 Email: 39146565@qq.com

**收稿日期:** 2020-04-26

问题是模型的不确定性,这种不确定性会导致系统的安全问题,鲁棒控制可以解决模型的安全问题。自适应控制设计控制器的基础模型参数是它的基本思想。由于控制参数的调改依靠模型参数的更新,所以不能提前考虑潜在的不确定性。为了解决不确定参数的问题,在构建鲁棒控制时选择利用不确定信息构建控制器。鲁棒控制一般适用于描述系统的不确定性,模型多样化,多元性。

(5)模糊控制。模糊控制总的思想是自高而下,自顶而下的、总体布局设计,不拘泥于最底层细节,从更高的维度架构整个设计。模糊控制并非是控制过程不清楚,也不表示控制器不明确,只是知识和概念的不清晰,其所完成的工作是完全安全的<sup>[3]</sup>。1974年,模糊集理论首次被英国工程师曼达姆(e.i.mamdani)应用于锅炉和蒸汽机的控制,自此开辟了模糊控制的新领域,特别是延时长、非线性、不好建模的,使用电脑实现模糊控制往往能取得好的效果。模糊控制有以下特征:宽泛的数学模型精确性、鲁棒性强(抗干扰能力强)、效果好、比较容易掌握控制。提出了一种将融合结构、融合算法和控制作为一个整体进行设计的模型,即神经模糊-3融合控制模型,又将使用同类的BP网络存储模糊规则并把经验“关联”在一起。

(6)神经网络控制。神经网络由简单的神经细胞组成,其连接重量为平行结构并且可调。神经网络控制是以神经网络为工具,模拟人脑简单结构的一种新的操纵和识别方法。神经网络在控制系统中既能当作对象模型,也能当作控制器。

## 2 FPGA应用

### 2.1 FPGA的优势

FPGA被称为现场可编程门阵列,其快速开发的特性,使之与传统的处理器截然不同,FPGA的主要应用于图像处理以及算法加速等。在大多数情况下,FPGA芯片在出厂时都是一颗空白的芯片,或者说是一颗半成品的芯片,这颗芯片内部的连线及具体要求需要用户通过编程来实现,即可以通过编程来更改内部结构的芯片,用户可根据自己的想法,将一颗FPGA芯片做成实现具体要求的芯片。对于飞控处理器选型,选用FPGA设计主控,可以发挥其并行计算能力强和高速响应的优势,最大程度的提高飞控的性能。

### 2.2 FPGA飞控的无人机控制系统意义

FPGA的飞控应用是一个相对全新的领域,目前大都采用单片机去设计飞控,主流飞控有的不开源,有的开源所使用的语言不利于二次开发。所以

本文基于循环芯片Age,基于硬件描述语言所写的飞控代码加上FPGA芯片本身在通信领域的优势,一方面,通信领域需要高速的协议处理,另一方面,通信协议随时变化,不适合生产专用芯片<sup>[4]</sup>。这使得能够灵活改变功能的FPGA芯片成为首选。

## 3 PS与PL交互

在使用zynq开发板制作系统时,需要考虑PS(Processing System,这里指的是ARM)与PL(Programmable Logic,这里指FPGA)的交互。PS与PL交互指的是ARM处理器与FPGA在ZYNQ平台的通信方式。目前主要使用的接口有3种:AXI\_LITE、AXI\_STREAM、以及AXI\_STANDARD。AXI\_lite接口一般用来进行简单的地址映射性通信。AXI\_stream称为流通信,AXI总线分为5个通道:写应答通道,包含BVALID(有效),BRES(响应),BREADY(准备)信号;写数据通道,包含WVALID,WDATA(数据),WSTRB(选通),WREADY信号;读数据通道,包含RVALID,RDATA,RREADY,RRESP信号;写地址通道,包含AWVALID,AWADDR(地址),AWREADY信号;读地址通道,包含ARVALID,ARADDR,ARREADY信号;处理ps与pl的交互的过程其实就是处理好AXI通信协议的过程,时序图如图1所示。一般形象的把AXI协议称为握手协议。为了建立通信环路,TREADY信号是从设备告诉主设备做好准备,TVALID信号告诉从设备此刻起数据有效;ACLK信号是作为总线时钟,一般上升沿有效;ARESETn信号是总线复位,低电平有效;TUSER信号是用户自定义信号,根据需要设置;TSTRB信号为bit数的对应TDATA有效字节数,宽度为TDATA/8。不同于一般传输,AXI使用字节做单位,这样测量此信号方便转换。TLAST信号说明该次传输为突发传输结尾,也就是一次传输中一个包数据的结束。利用AXI协议传输的无人机数据高效并且可校验,设计中ip封装选用流接口,满足了无人机高效快速的需求。

## 4 FPGA飞控系统构建

虽然FPGA的飞控十分重要,整个系统由飞控、接收机、分电板,电调等部分组成,如图2所示。整个系统工作方式按照一定的顺序,首先遥控器以2.4GHz传输频率发射控制指令,对码的接收机收到信号并开始解码,解码结果交由飞控从输入接口传入,将指令动作传给相应的飞控输出、传给分电板后控制电机做出相应动作。这种正相输入控制中,由于投放器所使用舵机较大,io口最大电压只有5V,

无法直接驱动大舵机,因此在中间增加 EBC 将电压增大到 12 V,但这种设计在以后的测量中也会带来用电量过大的问题。。第二种负反馈工作模式是在飞控内部各种传感器配合下进行的,如加速度计,

GPS,超声波、光流计等<sup>[5]</sup>。在某种姿态模式中(像自稳——自动保持水平),通过传感器收集的信息,经由 FPGA 飞控处理再次输出到电机端,从而达到调节姿态的作用。

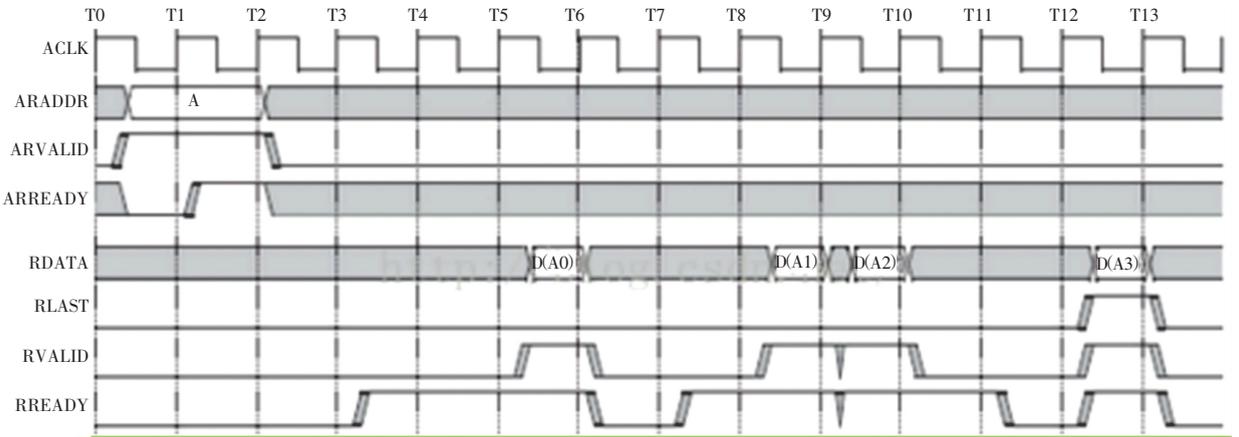
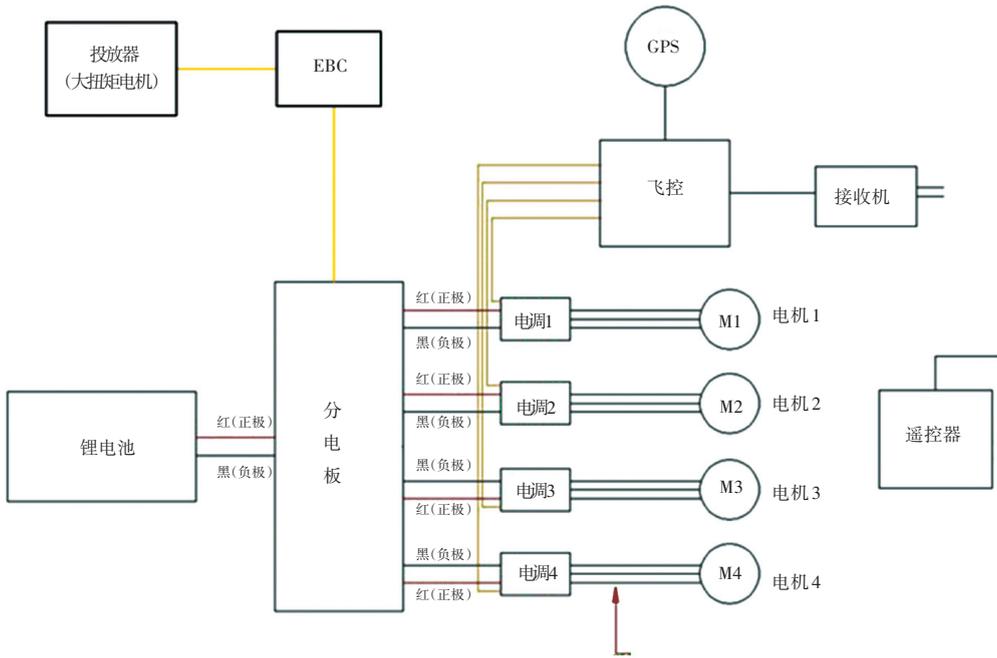


图 1 通讯时序图

Fig. 1 Communication timing diagram



任意更换两根线可改变电机转向

图 2 无人机设计图

Fig. 2 UAV design diagram

### 5 结束语

实际模式调节时,无人机一共定义了 6 种模式,分别是定高,定点,自动返航,无头模式、运动模式及自稳。此次设计的投放无人机主要应用于求助落水者,快速投放救生,给被困人员投放食物等、以及娱乐生活中的彩片投撒。飞控在实际测试过程中发现了一些问题,如飞控不是很稳定,还有舵机投放器功率太大,耗电加剧,导致飞控电流信号不稳定。后期将考虑优化滤波算法 IP 核,减小舵机以降低电压。同时测试中也暴露出载重能力有限的缺点,下一步

工作将致力于提高材料强度和减小支架重量。

### 参考文献

[1] 翁思义, 杨平. 自动控制原理[M]. 中国电力出版社, 2001.  
 [2] 黄卫方, 龚栋成. 浅析智能控制在工业电气自动化中的作用[J]. 科技信息, 2013 (13):118-118.  
 [3] 刘玉生, 于琨. 多输入多输出非线性参数系统的鲁棒自适应控制[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2008, 40(3):150-154.  
 [4] 童进, 张洪渊, 周庆标. 通信芯片系统中一种多协议数据处理方法[J]. 电子产品世界, 2005 (7B):70-72.  
 [5] 王鹏伟. 基于多尺度理论的图像分割方法研究[D]. 中国科学技术大学, 2007.