

# Contents

第一章	引言 .....	3
1.1	项目背景 .....	3
1.2	总体要求 .....	3
第二章	软件开发 .....	5
2.1	需求分析 .....	5
2.1.1	功能需求 .....	5
2.1.2	系统功能图 .....	5
2.2	概要设计 .....	5
2.2.1	基本数据流程 .....	5
2.2.2	系统功能模块划分、功能分配 .....	5
2.2.3	数据结构设计 .....	5
2.3	详细设计 .....	6
2.3.1	无人机体系框架 .....	6
2.3.2	导航控制器 .....	7
2.3.3	制导控制器 .....	8
2.3.4	姿态控制器 .....	8
2.3.5	数据流 .....	9
2.4	编码和单元测试 .....	9
第三章	仿真 .....	11
3.1	软件仿真 .....	11
3.1.1	软件准备 .....	11
3.1.2	组成部分 .....	11
3.1.3	数据流走向 .....	11
3.1.4	效果展示 .....	11
3.2	硬件仿真 .....	11
3.2.1	硬件准备 .....	11
3.2.2	组成部分 .....	11
3.2.3	数据流走向 .....	11
3.2.4	效果展示 .....	11
3.3	综合测试 .....	12



# 第一章 引言

## 1.1 项目背景

无人飞行器(Unmanned Air Vehicle, UAV)具有广阔的应用前景,是近年来高技术研究的热点目标之一。随着社会的发展和经济的进步,无人机的发展逐步趋于成熟。无人机的应用有不同的场景和方式,例如,应用于军事勘探和追踪,农药的无人喷洒,民用影像航拍等。以 2017 年发生飓风的波多黎各为例,利用最合理的方法向该地投放物资。同时也伴随着计算机技术,通信技术,传感器技术,电池技术等飞速发展,开展微型UAV研究并把它运用到军事或民用中已经成为可能。本论文以PX4控制逻辑为基础,进行了一定的改进,实现了更加平滑的转弯控制,使得无人机能以更地高效率执行航线。

无人机系统通常较有人机复杂。系统的基本组成主要包括无人机、地面控制站、发射回收装置及地面数据终端。控制站通常提供三个工作站:完成任务控制、无人机控制及图像分析。地面数据终端完成与无人机的信息交流。另外,有些无人机系统还增加了卫星作为其系统的组成部分,增加GPS以提高无人机定位的精度。无人机研究的关键技术包括:飞行器系统技术一用于预测故障的综合性管理系统和满足故障容错要求的制导、导航和控制系统;人工智能技术一用于解决无人机的自主程度问题;通信技术一宽带、大数据量的数据链技术可以使无人机远距离快速传递信息,实施超视距控制。

## 1.2 总体要求



## 第二章 软件开发

### 2.1 需求分析

#### 2.1.1 功能需求

#### 2.1.2 系统功能图

这个阶段的任务仍然不是具体地解决问题，而是准确地确定“为了解决这个问题，目标系统必须做什么”，主要是确定目标系统必须具备哪些功能。

用户了解他们所面对的问题，知道必须做什么，但是通常不能完整准确地表达出他们的要求，更不知道怎样利用计算机解决他们的问题；软件开发人员知道怎样使用软件实现人们的要求，但是对特定用户的具体要求并不完全清楚。因此系统分析员在需求分析阶段必须和用户密切配合，充分交流信息，以得出经过用户确认的系统逻辑模型。通常用数据流图、数据字典和简要的算法描述表示系统的逻辑模型。在需求分析阶段确定的系统逻辑模型是以后设计和实现目标系统的基础，因此必须准确完整地体现用户的要求。系统分析员通常都是计算机软件专家，技术专家一般都喜欢很快着手进行具体设计，然而，一旦分析员开始谈论程序设计的细节，就会脱离用户，使他们不能继续提出他们的要求和建议。软件工程使用的结构分析设计的方法为每个阶段都规定了特定的结束标准，需求分析阶段必须提供完整准确的系统逻辑模型，经过用户确认之后才能进入下一个阶段，这就可以有效地防止和克服急于着手进行具体设计的倾向。

### 2.2 概要设计

#### 2.2.1 基本数据流程

#### 2.2.2 系统功能模块划分、功能分配

#### 2.2.3 数据结构设计

实体对象关系设计

E-R图到关系模式

这个阶段必须回答的关键问题是：“概括地说，应该如何解决这个问题？”首先，应该考虑几种可能的解决方案。例如，目标系统的一些主要功能是用计算机自动完成还是用人工完成；如果使用计算机，那么是使用批处理方式还是人机交互方式；信息存储使用传统的文件系统还是数据库……。通常至少应该考虑下述几类可能的方案：低成本的解决方案。系统只能完成最必要的工作，不能多做一点额外的工作。中等成本的解决方案。这样的系统不仅能够很好地完成预定的任务，使用起来很方便，而且可能还具有用户没有具体指定的某些功能和特点。虽然用户没有提出这些具体要求，但是系统分析员根据自己的知识和经验断定，这些附加的能力在实践中将证明是很有价值的。高成本的“十全十美”的系统。这样的系统具有用户可能希望有的所有功能和特点。系统分析员应该使用系统流程图或其他工具描述每种

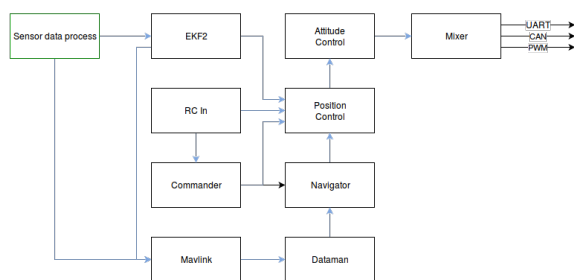


图 2.1. PX4

可能的系统, 估计每种方案的成本和效益, 还应该在充分权衡各种方案的利弊的基础上,推荐一个较好的系统 (最佳方案),并且制定实现所推荐的系统的详细计划。如果用户接受分析员推荐的系统, 则可以着手完成本阶段的另一项主要工作。上面的工作确定了解决问题的策略以及目标系统需要哪些程序, 但是, 怎样设计这些程序呢? 结构设计的一条基本原理就是程序应该模块化, 也就是一个大程序应该由许多规模适中的模块按合理的层次结构组织而成。总体设计阶段的第二项主要任务就是设计软件的结构, 也就是确定程序由哪些模块组成以及模块间的关系。通常用层次图或结构图描绘软件的结构。

## 2.3 详细设计

### 2.3.1 无人机体系框架

本文探讨的主要内容包括固定翼姿态控制, 飞行向导及自主导航等功能, 以层次化的观点来看, PX4由两个层次组成: 一是飞行控制栈(flight stack), 即自驾仪的软件解决方案, 二是中间件, 一种可以支持任意类型自主机器人的通用机器人中间件。如图2.1所示。整个系统是反应式的。箭头显示了模块之间最重要的连接的信息流。实际上, 连接比所示的多得多, 并且大多数模块都可以访问一些特定的数据(例如, 用于参数)。模块通过使用名为uORB的发布-订阅消息总线相互通信, 使用“发布-订阅”方案意味着: 系统是被动的, 它是异步的, 在有新数据可用时将立即更新所有操作和通讯都完全并行化, 系统组件可以以线程安全的方式从任何地方使用数据。其中, uORB(Micro Object Request Broker,微对象请求代理器)是PX4/Pixhawk系统中非常重要且关键的一个模块, 它肩负了整个系统的数据传输任务, 所有的传感器数据、GPS、PPM信号等都要从芯片获取后通过uORB进行传输到各个模块进行计算处理。实际上uORB是一套跨「进程」的IPC通讯模块。在Pixhawk中, 所有的功能被独立以进程模块为单位进行实现并工作。而进程间的数据交互就由尤为重要, 必须要能够符合实时、有序的特点。

其中, 飞行控制栈是用于自主无人机的制导, 导航和控制算法的集合。它包括用于固定翼, 多旋翼和VTOL机身的控制器, 以及用于姿态和位置的估计器。图2.2显示了飞行堆栈的构建块的概述。它包含从传感器、RC输入和自动飞行控制(导航器)到电动机或伺服控制(执行器)的完整管道。

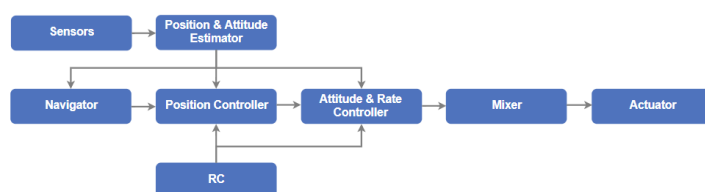


图 2.2. flight stack

其中, estimator、controller 和 mixer 担当主要角色。estimator 获取一个或多个传感器输入, 对其进行组合, 然后计算vehicle状态(例如, 来自IMU传感器数据的姿态); controller 是将设定值和测量或估计状态(过程变量)作为输入的组件, 其目标是调整过程变量的值, 使其与设定值匹配, 输出是最终

达到该设定点的校正。例如，位置控制器将位置设定值作为输入，过程变量是当前估计的位置，输出是将vehicle移向所需位置的姿态和推力设定点；mixer接受力指令（例如向右转）并将其转换为单独的电机指令，同时确保不超出某些限制，这种转换是特定于vehicle类型的，并且取决于各种因素，例如相对于重心的电动机布置或vehicle的旋转惯性。本文主要对controller内部的算法进行了一定的改进。

控制器主要包括：导航控制器(navigator)、制导控制器(position controller)和姿态控制器(attitude controller)三层结构；同时，上层的输出也是下层的输入，之间紧密衔接，没有主次之分。

### 2.3.2 导航控制器

导航就字面上说，就是引导航行的意思，而其确切的定义可表述为：导航是有目的地、安全有效地引导运动体(船只、潜艇、地面车辆以及飞机、宇宙飞船等)从一地到另一地的控制过程。所有导航系统的相关研究，都是为了解决三个基本的导航课题。这三个课题是：

- (1) 如何确定被导航对象的位置
- (2) 如何确定被导航对象从一个位置到另一个位置前进的方向
- (3) 如何确定距离(或者速度、时间)

对每个导航系统来说，就是利用导航手段不断确定被导航对象航行中的位置、方向、距离、时间和速度，这些通常称之为“导航参量”。在这些导航参量中，对慢速运动体来说或对于远距离航行来说，“位置”是关键。因为导航系统知道了“在哪儿”之后，就可以决定是继续保持当时的速度和航向，还是要作某种改变。因此，按传统的观点，导航系统从某种意义上说就是定位系统。但是对于高速运动的导航对象来说，测量和判断之间的时间滞后，使得位置信息不具有更多的意义。这种情况下，驾驶员最关心的导航参量就是“航向”和“距离”，以决定“到终点或下一条航路点要经过的那条航线?还有多远”的问题；而如果交通密度很高，还会产生这样的问题：“在这个时刻，我应该在哪里?我实际上在哪里?怎样到达我应该到达的下一个位置上去?”因此，这时所需要的连续的、实时的驾驶信息输出，以便通过制导计算机来实行自动操纵。总之，由于导航的目的和对象的不同，要求解决的问题也会有所区别。但从根本上说，导航就是为了提供航行中的位置、方向、距离和速度这些导航参量。因此，导航的研究，就是要弄清楚这些导航参量的如何测量和如何运用；而导航的实践，就是运用所得到的结果来保证运动体安全而有效地航行。从所用技术来分，导航可分为惯性导航、雷达、卫星导航；导航台：从应用方式来分，可分为自主导航和地面导航。上面的惯性导航和雷达为自主导航；导航台为地面导航；而卫星导航是一种综合的导航手段。

由此可知，如何确定位置是导航需要解决的基本问题之一，而且传统的导航系统从某种意义上说就是一个定位系统，这说明了定位技术在导航过程中的重要地位。目前，对于地面移动目标的定位技术主要包括无线电定位技术、GPS导航定位技术、惯性导航定位技术。

#### 1) 无线电定位技术

该种定位技术由超高频视距无线电系统构成的同步时序网络，采用跳频和时分多址技术，提供数百个地面和空中平台的实时位置轨迹。定位精度可达几十米内，缺点是建网成本太高，军事上应用居多。

#### 2) 惯性导航定位技术

惯性导航系统利用陀螺、加速度计等惯性元件，测量运动平台相对于惯性空间的线运动和角运动参数，在给定初始条件下，由计算机推算出平台的导航参数，以引导平台完成预定的航行或行驶任务。惯性导航的突出优点是，具有高度的自主性，不需要外界的帮助，就能独立完成导航任务。缺点是有自身无法避免的累积误差。

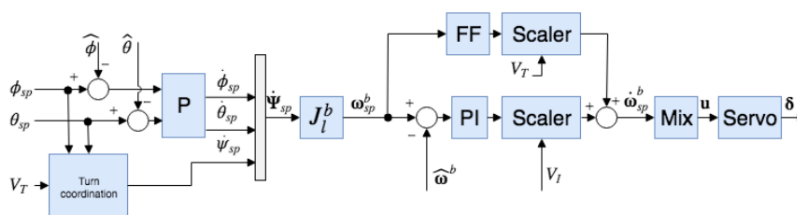


图 2.3. attitude control loop

### 3) 基于GPS系统的定位技术

该技术优点是定位精度高,定位半径可达十几米。目前没有一种传统的导航定位技术能够达到GPS这样的高精度、高速度、全天候和全球性的性能。其缺点是需要终端内置GPS接收机,定位精度受终端所在环境的影响较大,如用户在室内时,定位精度将降低,甚至无法完成定位。

从以上介绍可知这些导航定位技术各有其优点和不足,无线电定位技术和GPS 导航定位技术可以获得高精度,但容易受到干扰;惯性导航定位装置是纯自主式的,但必须借助于里程计等定时进行校正,才能保证定位精度。因此,目前地面平台往往采用两种或两种以上的导航装置组成综合导航定位系统。但是组合导航系统是以提高成本为代价的,目前国内,应用较多也比较实用的是结合GIS的地图匹配算法。

导航需要解决的第二个问题是在当前位置已知的前提下,如何才能到达目的地,也即路径规划。

### 2.3.3 制导控制器

制导是导引和控制飞行器按一定规律飞向目标或预定轨道的技术和方法。制导过程中,导引系统不断测定飞行器与目标或预定轨道的相对位置关系,发出制导信息传递给飞行器控制系统,以控制飞行。分有线制导、无线电制导、雷达制导、红外制导、激光制导、音响制导、地磁制导、惯性制导和天文制导等。如果说导航是给出航线,引导目标到达某点,那么制导就是导引并控制目标到达某点。区别就像别人问路,导航就是给他指路,制导就是给他带路导航的对象范围比较大,通常用他的狭义定义指的是载具设备,但是广义定义下也能对人;制导的对象则范围小,通常用的狭义定义专指武器(导弹,制导炸弹,鱼雷),广义下也加入了飞行器

### 2.3.4 姿态控制器

姿态控制器使用级联回路方法工作,如图2.3所示。外环计算姿态设定值和估计姿态之间的误差,该误差乘以增益(P控制器)可生成速率设定点。然后,内部循环计算速率误差,并使用PI(比例+积分)控制器生成所需的角加速度。然后,使用此期望的角加速度和通过控制分配(也称为混合)对系统的先验知识,计算控制执行器(飞机,电梯,舵等)的角位置。此外,由于控制面在高速时更有效,而在低速时则较差,因此使用空速测量(如果使用此类传感器)来缩放针对巡航速度进行调整的控制器。如果未使用空速传感器,则会禁用FW姿态控制器的增益调度(它是开环的);使用空速反馈在TECS中无法/无法进行校正。

前馈增益用于补偿空气动力学阻尼。基本上,飞机上机轴力矩的两个主要组成部分是由控制面(飞机,电梯,方向舵,产生运动)和气动阻尼(与机率成比例,抵消运动)产生的。为了保持恒定的速率,可以使用速率环路中的前馈来补偿此阻尼。侧倾和俯仰控制器具有相同的结构,并且假定纵向和横向动力学已解耦到足以独立工作。但是,偏航控制器使用转角协调约束来生成其偏航率设定值,以最小化飞机滑行时产生的横向加速度。偏航率控制器还有助于抵消不利的偏航影响,并通过提供额外的定向阻尼来阻尼荷兰语侧倾模式。



### 2.3.5 数据流

总体设计阶段以比较抽象概括的方式提出了解决问题的办法。详细设计阶段的任务就是把解法具体化,也就是回答下面这个关键问题:“应该怎样具体地实现这个系统呢?”这个阶段的任务还不是编写程序,而是设计出程序的详细规格说明。这种规格说明的作用很类似于其他工程领域中工程师经常使用的工程蓝图,它们应该包含必要的细节,程序员可以根据它们写出实际的程序代码。通常用H I P O图(层次图加输入/处理/输出图)或P D L语言(过程设计语言)描述详细设计的结果。

## 2.4 编码和单元测试

这个阶段的关键任务是写出正确的容易理解、容易维护的程序模块。

程序员应该根据目标系统的性质和实际环境,选取一种适当的高级程序设计语言(必要时用汇编语言),把详细设计的结果翻译成用选定的语言书写的程序,并且仔细测试编写出的每一个模块。



## 第三章 仿真

### 3.1 软件仿真

#### 3.1.1 软件准备

#### 3.1.2 组成部分

#### 3.1.3 数据流走向

#### 3.1.4 效果展示

### 3.2 硬件仿真

#### 3.2.1 硬件准备

#### 3.2.2 组成部分

#### 3.2.3 数据流走向

#### 3.2.4 效果展示

### 3.3 综合测试

这个阶段的关键任务是通过各种类型的测试（及相应的调试）使软件达到预定的要求。最基本的测试是集成测试和验收测试。所谓集成测试是根据设计的软件结构，把经过单元测试检验的模块按某种选定的策略装配起来，在装配过程中对程序进行必要的测试。所谓验收测试则是按照规格说明书的规定（通常在需求分析阶段确定），由用户（或在用户积极参加下）对目标系统进行验收。必要时还可以再通过现场测试或平行运行等方法对目标系统进一步测试检验。为了使用户能够积极参加验收测试，并且在系统投入生产性运行以后能够正确有效地使用这个系统，通常需要以正式的或非正式的方式对用户进行培训。通过对软件测试结果的分析可以预测软件的可靠性；反之，根据对软件可靠性的要求也可以决定测试和调试过程什么时候可以结束。应该用正式的文档资料把测试计划、详细测试方案以及实际测试结果保存下来，做为软件配置的一个组成成分。

整体的思路方法，找到自己做的凝练的地方;系统化，软件工程思路;系统需求分析, 总体框架, 我的模块, 子模块功能及其实现流程;用到系统的硬件, 接口的口地址函数, 接口的类定义方法, 自己所做的东西内容