



四旋翼飞行控制实验平台 技术方案

文件编号:	生效日期:	阶段标记:
密级:	版次: A/0	受控编号:
总页数	正文	附录
编制:	审核:	批准:

北京灵思创奇科技有限公司

2020年2月

目 录

1 引言	1
1.1 概述.....	1
1.2 系统特点.....	1
1.3 系统工作原理	2
2 系统组成	4
2.1 四旋翼实验台.....	4
2.2 飞控板硬件支持包.....	5
2.3 飞控实验示例包.....	5
2.4 配套设备.....	5
3 实验内容	7
4 系统部署条件	7
5 实验示例	7
5.1 IMU 数据获取与姿态解算.....	7
5.2 基于颜色的绿球跟踪实验.....	9

1 引言

1.1 概述

四旋翼飞行控制实验平台是集教学与科研目的为一体的多功能实验台，其在满足日常学生教学实验的同时，兼顾无人平台姿态控制、制导导航、力学等学科专业的科学研究。本平台采用先进的基于模型的设计（MBD）开发思路，可支撑控制系统数学仿真、台架实验、实飞实验，具备模型编译、下载、数据监视记录、后处理等完成的工具软件，能够帮助学生熟悉整套控制系统设计流程。

系统的硬件设备主要由控制主机、台架实验飞行器、飞行实验飞行器构成，系统架构如下图所示。



图 1 系统结构

1.2 系统特点

- 采用先进的基于模型设计（MBD）的开发思路，基于 MATLAB Simulink 可以快速实现控制器的开发和自动代码生成；
- 提供了四旋翼的数字仿真实验、台架飞行实验和实物飞行实验，构成一套完整的飞控设计验证流程；

- 无人机采用 BeagleBone Blue 作为核心板，可同时处理图像信息和飞行控制任务，集成了 9 轴 IMU 和气压高度计，并扩展单目摄像头；
- 模块化的硬件设计，以及完整的底层软件驱动代码，方便学生进行二次开发以及先进控制算法研究。

1.3 系统工作原理

平台硬件核心是 BeagleBone Blue（简称 BBB）开放式硬件计算机与机器人控制器，专为教育工作者、爱好者和专业人士设计。支持社区且完全开源，外加实时 Linux 系统和一套魅力十足的外围设备，能够快速构建移动机器人（无人机是飞行机器人）。

用户在 MATLAB Simulink 环境下进行姿态控制和图像采集/跟踪算法设计，并自动生成 C 语言代码，可直接下载到 BBB 上运行，这种开发流程具有快速、自动化程度高的特点。

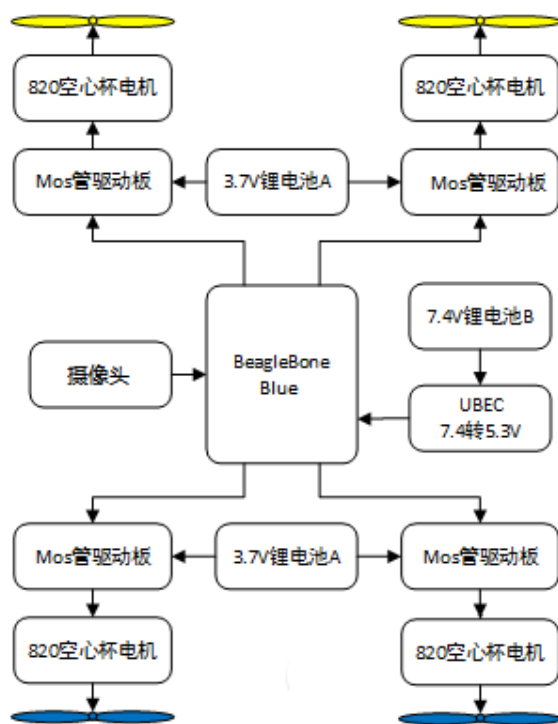


图 2 系统硬件拓扑图

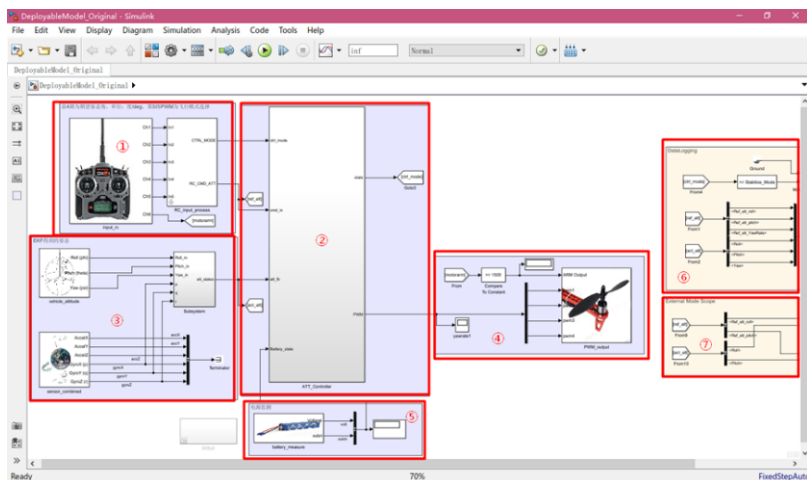


图 3 Simulink 控制模型

2 系统组成

2.1 四旋翼实验台

四旋翼实验台，包括一架四旋翼和无人机实验台架。无人机实验台架通过万向节与无人机连接，能够完成四旋翼在实验内的姿态控制和图像跟踪调试实验。

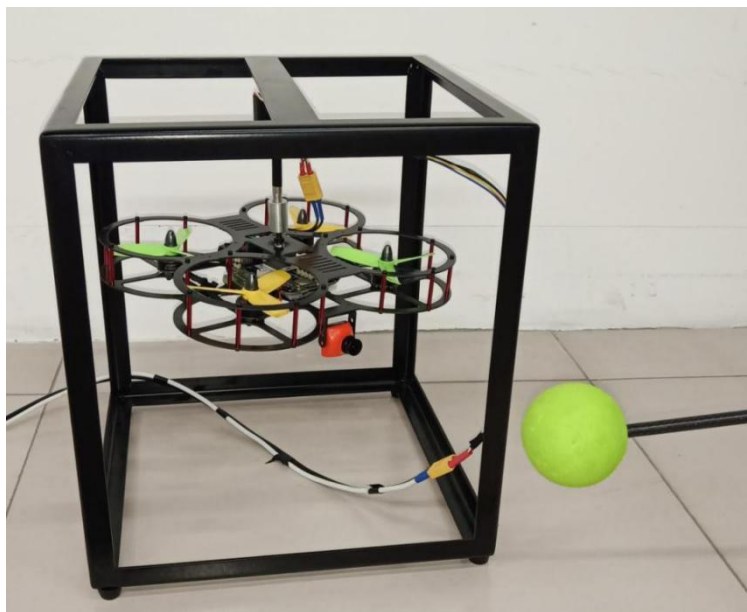


图 4 四旋翼实验台

参数如下：

- 实验台架：尺寸 34cm×34cm×45cm(长×宽×高)；
- 飞机尺寸：25cm×27cm×4cm(长×宽×高)，带碳纤防护框；
- 起飞重量：800g；
- 续航时间：空机不小于 15 分钟（台架实验阶段使用直流电源供电，可持续飞行）；
- 飞控：AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8 processor，运行 Linux 操作系统，512MB DDR3 内存，4GB flash 存储，1 路无线 WIFI 802.11bgn, Bluetooth 4.1，8 路 PWM 输出，4 路正交编码器采集，9 轴 IMU (accels, gyros, magnetometer)，气压高度计，支持 UARTs, SPI, I2C, 1.8V analog, 3.3V GPIOs；
- 单目镜头：USB 接口，720p 30fps,视野 60 度。
- 工作温度：0° C~55° C

2.2 飞控板硬件支持包

飞控板硬件支持包是一款基于 Matlab Simulink 模型的开发工具，它与 Simulink 模型无缝集成，可将 Simulink 模型转化成可直接下载到真实控制器硬件的目标代码，它主要有代码生成工具 Links-AutoCoder-Gen 和外围设备模型库 Links-AutoCoder-DevLib 组成。

1) 代码生成工具 Links-AutoCoder-Gen

代码生成工具 Links-AutoCoder-Gen 是运行于后台的一个代码生成工具，它用来完成 Simulink 模型到目标代码的转换，并生成一个控制算法运行引擎（即控制算法的运行框架程序）。该工具可以根据用户的实际硬件平台进行定制，支持 X86/PPC/ARM 等目标处理器架构。

2) 外围设备模型库 Links-AutoCoder-DevLib

外围设备模型库 Links-AutoCoder-DevLib 包含传感器、执行机构、图像处理、图像采集、定位等模块库，如下图所示。



图 5 Simulink 下的模型库

2.3 飞控实验示例包

实验课程基于 MATLAB Simulink 开发，能够覆盖姿态控制和视觉定位两个方向，包括四旋翼完全匹配的 Simulink 仿真模型（含视觉导航、姿态控制、飞机动力学）和实验指导书。

2.4 配套设备

(1) 开发主机

开发主机基于 Windows 平台，运行 MATLAB/Simulink 建模环境；使用 Links-RT 仿真软件包软件实现对仿真运行试验的启停控制、在线监控、数据后处理等操作，同时可以配合 LabVIEW、Vega Prime、FlightGear、X-Plane 等第三方软件实现仿真过程的仪表监测和三维视景显示。

开发主机的指标参数如下：

- 品牌：联想 M4000s；
- CPU：酷睿 I5-9400 六核 2.9GHz；
- 内存：8GB DDR4 2666MHz；
- 硬盘：1TB；
- 显示器：23 英寸（1920x1080 分辨率）；
- 光驱：DVD 刻录；
- 主板：集成显卡、千兆以太网卡；
- 附件：鼠标，键盘，鼠标垫。



图 6 开发主机（联想 M4000s）

2) 实验桌

1.2 米宽，0.75 米高，桌面放置开发主机和四旋翼台架。

3 实验内容

- 四旋翼动力学建模
- 摄像头数据获取与处理
- IMU 数据获取与姿态解算
- 电机与 LED 灯控制
- 基于双闭环 PID 的无人机姿态控制
- 基于颜色的绿球跟踪实验
- 四旋翼实飞。

4 系统部署条件

占地面积：1 米×1 米；

建议实验区域：长：2 米，宽：2 米，层高：2.8 米；

供电：单相 220V，50Hz；

总功率：0.5kW。

5 实验示例

5.1 IMU 数据获取与姿态解算

1) 实验目的

- 熟悉 IMU 传感器基本原理；
- 学习基本 kalman 滤波的原理和应用。

2) 实验原理

飞行器姿态（滚转、俯仰、偏航角）测值并非直接来源于机上传感器，而是依据姿态测量原理，由集成传感器的原始测值经过‘vehicle_attitude’模块内置姿态计算方法计算后得到。该模块内置了两种姿态计算方法，基于加速度计、陀螺仪和磁力计测值的默认计算方法和扩展卡尔曼滤波器（Extended Kalman Filter）。

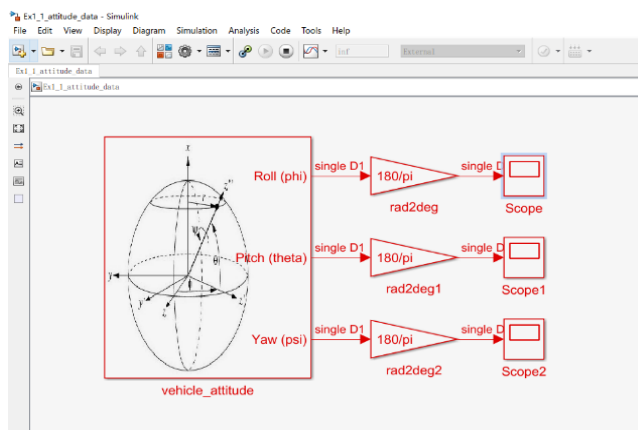


图 6 姿态测量模型

3) 实验过程

A. 数值仿真实验

Step1: 直接运行模型

Step2: 打开示波器，结果如下图所示，从结果可以看出，估计值能够很好的符合实际值。

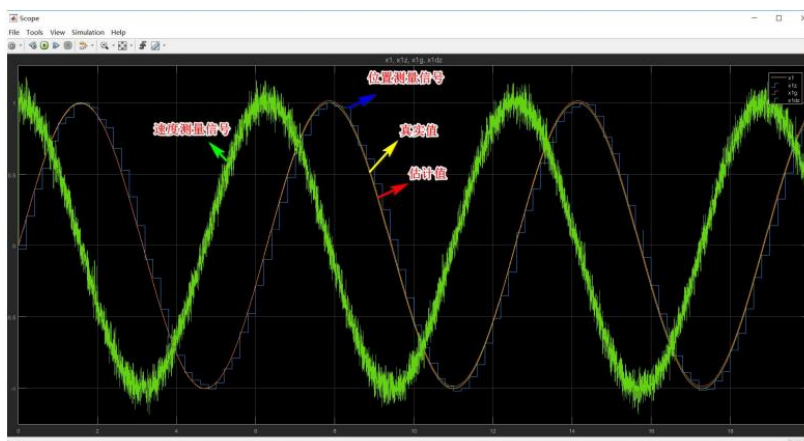


图 7 卡尔曼数值仿真实验结果

B. 台架实物实验

Step1: 打开 Simulink 模型

Step2: 无人机实物上电

Step3: 编译下载模型，上传固件信息

Step4: 手动摆动四旋翼，在 Simulink 监控界面观察上传的四旋翼姿态数据

Step5: 停止模型

Step6: 关闭无人机。

5.2 基于颜色的绿球跟踪实验

1) 实验目的

- 了解跟踪控制基本原理
- 了解图像处理基本过程
- 了解分层控制器的设计思想

2) 实验原理

以前置相机中的绿球为跟踪对象，其目的是保持绿球在图像的中心位置（坐标原点）。当绿球在图像中左右移动时会产生一个 x 方向的位移，将此作为偏差输入 PID 控制器产生一个偏航角的控制量，作为姿态控制器的期望值。当绿球在图像中上下移动时会产生一个 y 轴方向的位移，将此作为偏差输入 PID 控制器产生一个俯仰角的控制量，作为姿态控制器的期望值。经过两个 PID 控制器，将使得绿球能够保持在图像的中心，移动绿球，无人机的机头就会跟随移动，这就是绿球跟踪的基本原理。

如下图所示，绿球跟踪控制系统采用分层控制思想，最上层为绿球跟踪控制器（BBB 板载 ARM 处理器），最下层为无人机姿态控制器（BBB 板载 GPU 处理器），上层的控制器输出作为下一层控制器的给定输入。

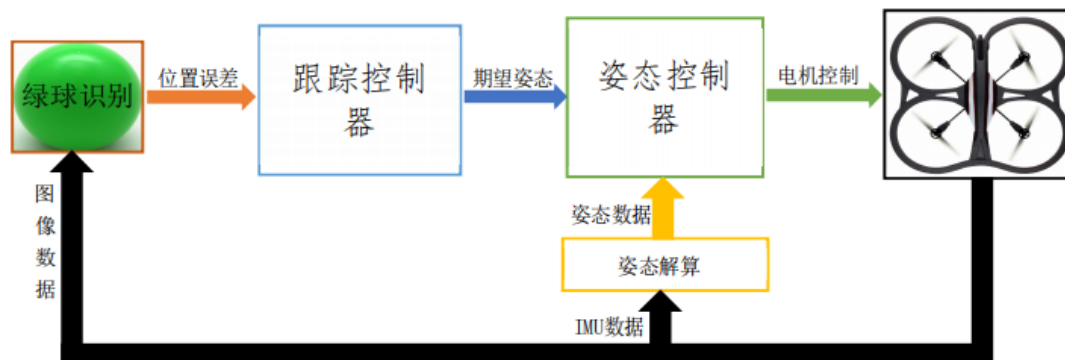


图 8 绿球跟踪控制系统原理图

3) 实验过程

A. 绿球跟踪实验

Step1: 打开模型

Step2: 无人机实物上电

Step3: 编译下载模型，上传固件

Step4: 运行模型

Step5:运动绿球，观察无人机跟踪情况

Step6:调整 PID 控制器参数，优化跟踪效果

Step7:停止模型

Step8:关闭无人机

4) 实验讨论:

- 分层控制的设计思路和特点
- 将颜色跟踪改为形状跟踪甚至人脸跟踪等。