

基于卡尔曼滤波四旋翼无人机控制系统设计

桂林电子科技大学 王宽田 党选举 郑飞宇 周 旋

【摘要】根据四旋翼无人控制系统的机理,设计四旋翼无人机控制系统平台;根据姿态控制的要素和方法,首先对所采集的姿态信息进行算法解算,然后通过互补滤波器和卡尔曼滤波器对姿态信息进行滤波仿真对比;通过仿真对比验证卡尔曼滤波器更适合四旋翼无人控制系统姿态信息解算。

【关键词】四旋翼；姿态信息；卡尔曼滤波

DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2017.08.071

引言

四旋翼飞行器是旋翼式飞行器中的一种，国外又称Quad rotor, Four rotor 或 X4-flyer等，它新颖独特的机械结构使它具有定点悬停、垂直起降（Vertical Take-Off and Landing, 简称VTOL）、机动性高、动作灵活等特点。与需要起飞跑道、着陆条件和高空高速飞行的普通固定翼飞机比较而言，能够垂直起降的飞机具有起降空间小、空中悬停、定点监测、低空低速飞行等优势。而相较于同样具有垂直起降特性的传统直升飞机而言，四旋翼飞行器以其机械结构简单、飞行性能高、体积小、操作性好、维护简便、价格低廉等特点，具有更加广泛的军事和民用价值。因此，近年来四旋翼飞行器的相关技术已成为国内外的研究热点。

目前,美国宾夕法尼亚大学GRASP实验室的Quentin Lindsey、Daniel Mellinger、Vijay Kumar 等人选用Ascending Technologies公司的“蜂鸟”四旋翼飞行器模型,设计了四旋翼飞行器工作群,使四旋翼飞行器具有一定的智能化、集群性的功能。德国Microdrones公司研制的大型四旋翼飞行器MD4-1000,能够在空中飞行60分钟,载重达到1000g,并能够在复杂的大气环境下进行稳定飞行,表现出了良好的控制性能和抗干扰能力。而国内对四旋翼飞行器的研究正在逐步升温,北京航天航空大学、电子科技大学、中国科学技术大学和上海交通大学等院校也对四旋翼飞行器的姿态解算与控制、硬件设计与实现、数据滤波与融合、自动飞行与起降等方面开展了相关的科研工作。

一、四旋翼无人机飞行器控制系统设计

根据四旋翼无人机控制系统飞行机理要求,控制系统的接口框图如图1所示。

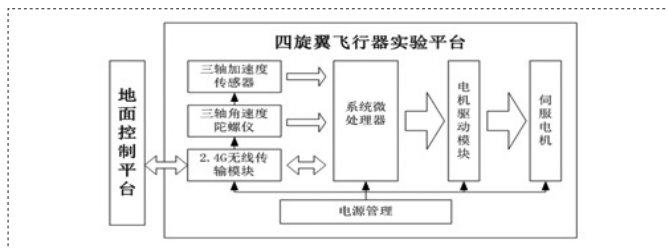


图1 四旋翼飞行器实验平台

根据图1所示,四旋翼飞行器实验平台包括系统微处理器、三轴加速度计、三轴速度陀螺仪、2.4G无线传输模块,电机驱动模块(电调模块)、伺服电机、螺旋桨以及电源模块;飞行器以stm32微处理器为核心,将外围的各个传感器模块连接在一起构成一个系统,以mpu6050传感器测量四旋翼无人机飞行器的姿态信息,以NRF24L01作为无线传输模块的核心部件,电调模块采用现成的好赢天行者电调模块,电机采用无刷电机作为四旋翼无人机飞行器的动力设备。

经过设计,四旋翼无人机飞行器实验平台控制系统的原理图以及四旋翼飞行器的实物图,如图2所示。

二、四旋翼飞行器姿态解算

由于四旋翼无人机飞行器机体本身存在误差、mpu6050的三轴

加速度计和三轴陀螺仪传感器存在测量误差以及飞行器在飞行的过程中存在各种干扰因素引入了静态和动态误差等等;使得飞行器控制偏离理想轨迹,为了滤除各种干扰引入的误差,必须要对四旋翼的姿态角(偏航角、横滚角、俯仰角)进行滤波融合,常用的滤波算法有互补滤波法和卡尔曼滤波法。

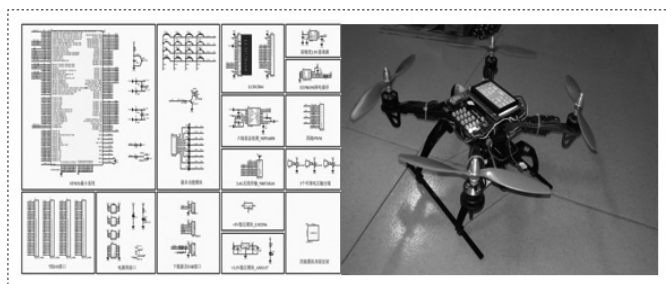


图2 四旋翼飞行器原理图与实物图

1、互补滤波器

互补滤波器具体算法框图如图3所示。

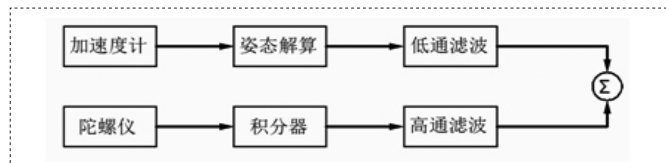


图3 互补滤波器算法框图

由于三轴加速度计的静态性能较好,也就是说低频段性能好,动态性能很差,所以当四旋翼无人机飞行器在静止时,用三轴加速度计测量出来的姿态信息误差很小,而当四旋翼飞行器在动态飞行过程中时,用三轴陀螺仪测量出来的姿态角信息误差很小,因此三轴陀螺仪的动态性能好,也就是在高频段性能好,静态性能差;经过以上分析我们可以设计一个滤波算法,当四旋翼飞行器在静态时,也就是工作在低频段时,主要采用加速度计来测量飞行器的姿态信息,当飞行器在动态时,也就是工作在高频段主要时,采用三轴陀螺仪来测量飞行器的姿态信息;这就是互补滤波器的算法的思想。具体的算法公式1.1如下:

$$X_{\text{angle}} = a * (X_{\text{angle}} + X_{\text{gyro}} * dt) + b * X_{\text{acc}} \quad (1.1)$$

其中X_gyro和X_acc分别为三轴加速度计和三轴陀螺仪测量出来的数据, dt为系统的采样时间, a, b满足a+b=1;

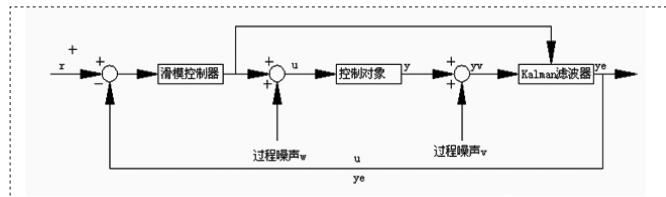


图4 卡尔曼滤波器系统结构图

2、卡尔曼滤波器

卡尔曼滤波是以匈牙利数学家 Rudolf Emil Kalman 命名的，它是一种在时域内进行最优值估计的方法。它根据上一时刻的估计值与此刻的测量值，不断估计和预测出此刻的估计值，同时不断计算和更新卡尔曼增益 (Kalman Gain)，调整估计值与测量值的权重，从而达到预测最优值的效果。卡尔曼滤波器 (Kalman Filter)

是一种高效的最优化处理方法,不需要记录或储存以往的所有估计值和测量值,即可按照步骤预测此刻的估计值,非常适用于计算机处理,被广泛应用于雷达系统、导弹控制、飞行器导航、图像处理、数据通讯等方面。

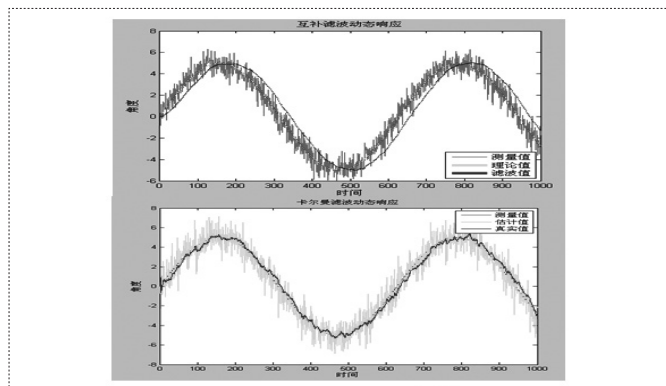


图5 互补滤波与卡尔曼滤波效果图

(上接第100页)

的增加,数据的增多,显示端需要处理以及存储的数据也进一步在增多。这就需要显示端具有良好的计算能力,优质的算法以及一定的存储空间。由于公交系统信息数据庞大,项目团队计划考虑开发服务器端程序,以便减轻显示端负载。

鉴于此原因,项目的下一步计划即是研究服务器处理程序的开发。

参考文献

- [1]于营,周邦华,魏金璐.基于无线传输的智能公交定位系统的研究与设计[J].2016(1):47-49.
- [2]陈晓情,陈燕青,王润飞.基于GPS的公交系统及到站时间预测APP设计研究——以太原市为例[J].金融时代,2016(26).

(上接第101页)

“选项菜单”按钮,在弹出菜单中选择“禁用蒙版”命令,此时图层面板上的蒙版对象会被禁止,并显示一个红色的 \bar{I} 。蒙版对象一旦被禁止的话,编辑区就只会显示被蒙版对象了。如果要恢复蒙版效果的话,在【图层面板】中单击蒙版对象即可。

5.2 删除蒙版

同样的方法,单击【图层面板】右侧的“选项菜单”按钮,在弹出菜单中选择“删除蒙版”命令,这时会弹出[删除蒙版]对话框。单击“放弃”按钮,蒙版对象会被删除,而被蒙对象没有任何影响;单击“应用”按钮【图层面板】上会只显示一个位图对象。

6 结束语

矢量蒙版和位图蒙版都可以使用其灰度外观来应用。蒙版像素的亮度确

(上接第102页)

系统运行流程图如图2所示。

4 结论

系统硬件实物如图3所示。通过测试,本设计结构简单、易操作、可靠性高,基本能够实现预期功能。随着我国通用航空的低空开放,本设计对提高飞行训练安全有一定积极作用。本设计未来可采用调速雨刷电机^[4],采用PWM技术对雨刷电机进行更加精准的调速。

参考文献

- [1]刘鹏.MD-90防冰除雨系统设计分析[J].民用飞机设计与研究,

对于本系统而言,三轴加速度计的输出量与时间无关,误差主要是MEMS三轴加速度计自身的测量误差。而三轴陀螺仪的输出量需要根据测量时间不断积分得到最终的角度,即存在积分误差与仪器本身误差两个方面的误差。

离散卡尔曼滤波器递推算如下:

$$M_n(K) = P(K)C^T(CP(K)C^T + R)^{-1} \quad (1.2)$$

$$P(k) = AP(K-1)A^T + B^TQB \quad (1.3)$$

$$P(k) = (I_n - M_n(k)C)P(k) \quad (1.4)$$

$$x(k) = Ax(k-1) + M_n(k)(y_k(k) - CAx(k-1)) \quad (1.5)$$

$$y_k(k) = Cx(k) \quad (1.6)$$

其中, Q 为噪声 $w(k)$ 的协方差; R 为噪声 $v(k)$ 的协方差。

卡尔曼滤波器控制系统结构图如图4所示。

3、假设控制系统为 $5\sin(t/100)$,对控制系统分别做互补滤波和卡尔曼滤波,滤波结果如图5所示。

通过以上的滤波结果可得到,互补滤波的得到的结果明显比理论值要滞后,而卡尔曼滤波与实际的理论值更加贴近,因此卡尔曼滤波更加适合四旋翼无人机飞行器控制系统姿态信息解算。

[3]张晓泰,吕北岳,杜清远.基于车载GPS技术的交通浮动车检测系统设计研究[J].2004(1):82-83.

[4]张海藩.软件工程[M].北京:人民邮电出版社,2002:75-80.

[5]金银秋.数据库原理与设计[M].北京:科学出版社,2003:201-230.

[6]Addison Wesley.A First Look at ADO.NET and System.Xml[M].北京:清华大学出版社,2006:64-80.

作者简介:

徐晓,女,山东德州人,大学本科,研究方向:计算机应用。

刘智斌,男,山东日照人,副教授,研究方向:Web开发。

易达威,男,湖南长沙人,大学本科,研究方向:计算机应用。

定被遮罩对象的显示程度。较亮的像素会显示被遮罩的对象,而较暗的像素则会去掉图像底色并显示背景。如果蒙版对象包含图案或渐变填充,此方法可产生有趣的效果。灵活的应用蒙版技术可以产生很多有趣的现象。

参考文献

- [1]何秀芳编著.Fireworks CS3从入门到精通[M].人民邮电出版社,2008.5.
- [2]丁桂芝编著.Fireworks CS4 案例教程[M].电子工业出版社,2010.5.
- [3]胡仁喜,刘昌丽等编著.Fireworks CS5 标准实例教程[M].机械工业出版社,2010.8.

作者简介:

张丽平(1982-),女,讲师,大学本科,主要研究方向为计算机软件 and 数据库。

系统运行流程图如图2所示。

4 结论

系统硬件实物如图3所示。通过测试,本设计结构简单、易操作、可靠性高,基本能够实现预期功能。随着我国通用航空的低空开放,本设计对提高飞行训练安全有一定积极作用。本设计未来可采用调速雨刷电机^[4],采用PWM技术对雨刷电机进行更加精准的调速。

参考文献

- [1]刘鹏.MD-90防冰除雨系统设计分析[J].民用飞机设计与研究,

2002(4):27-31.

[2]程国钢.51单片机常用模块设计查询手册[M].清华大学出版社,2016:5-10.

[3]郭剑鹰.车用雨量传感器应用[J].汽车电器,2008,11:27-28.

[4]任学峰.一种电流模式控制PWM开关电源的设计[D].西安电子科技大学,2008:13-14.

作者简介:

孙翠玲(1984-),山东淄博人,硕士研究生,滨州学院。