

5 总结与展望

5.1 总结

微小型无人机在民用和军用领域都具有广阔的应用前景，是未来无人机的一个重要发展方向。本文结合目前无人机的发展状况，以微小型无人机为载体，展开微小型无人机的导航技术的研究。本文首先自行设计了低成本高性能的飞控硬件平台，其次，对低成本 MEMS 传感器的误差进行建模与校准，对采集的数据进行滤波处理，最后研究了使用互补滤波算法进行姿态解算和扩展卡尔曼滤波进行多传感器的数据融合的导航算法，并设计实验对所研究的算法和所设计的飞控平台的性能进行了检验。

本文的主要工作内容如下：

(1) 自主设计了一块基于 ZYNQ 和低成本 MEMS 传感器的多传感器的飞控硬件平台。相比于目前主流的平台，所设计的飞控硬件电路板具有更强的运算能力，能够支持更为高级复杂的导航算法。该平台使用基于 QNX 的实时操作系统，可以有效的执行复杂的算法并且更为方便，效率更高。

(2) 对本文使用的 MEMS 传感器的误差进行补偿校正，对传感器采集数据中的噪声进行了滤波处理。对三轴陀螺仪采用静置法，计算出零位偏移量。对三轴加速度计使用六面法进行零位偏移校正。用最小二乘法对三轴磁力计进行椭球拟合校准。另外研究了一种可以在飞行过程中实时计算出磁力计零位偏移的算法。对三轴陀螺仪，三轴加速度计和三轴磁力计测得的数据进行均值滤波处理。对气压计的数据进行一阶低通滤波处理。对空速数据进行滑动窗口滤波处理。

(3) 重点研究了导航的算法。首先是实现了互补滤波姿态解算算法，并且在飞机加速运行的情况下，融合 GPS 的速度更准确地计算出飞机的姿态。实现了基于扩展卡尔曼滤波的多传感器数据融合的导航算法。用捷联惯性导航的计算方式对 24 个状态量进行建模，包括用四元数方式表示的姿态、北东地速度、北东地位置、陀螺仪漂移、加速度计漂移、水平风速、地磁、地磁偏移。用 GPS 接收的速度和位置，空速计测得的水平空速和磁力计测得的地磁来做观测值进行状态修正。当 GPS 失锁时，发现扩展卡尔曼滤波算法能够很好的计算出导航信息。最后将该导航算法作为航点跟踪的导航输入，能够很好的进行航点跟踪说明该算法的实用性和正确性。

5.2 展望

以本文设计的飞控硬件平台为基础，未来的研究计划如下：

(1) 提高导航的稳定性和鲁棒性。所设计的飞控硬件平台留有很多接口，可以用双份传感器来进行导航计算，如使用两个陀螺仪和加速度计，以增加系统的稳定性。当两个传感器都正常工作时，用它们的均值进行计算。在其中一个传感器检测出现错误的时候，就可以舍弃该值，去使用另一个传感器。这样就避免了当只有一个传感器时，导航计算结

果因为传感器异常而出错，或者影响精度。

(2) 本文使用的传感器包括三轴陀螺仪、三轴加速度计、三轴磁力计、GPS、空速计和气压计。在基于扩展卡尔曼滤波的多传感器数据融合的导航算法结构下，可以加入更多传感器，为算法提供更多的无人机飞行参数观测值，来提高算法的鲁棒性和导航精度。如可以加入光流传感器，将水平位置作为观测值来修正状态量。还可以加入激光测距仪，超声波传感器等等，通过测量距离来修正状态变量。

(3) 考虑到无人机需要在复杂环境下完成任务，针对不同飞行条件下的多模态导航算法需要进一步研究。如增加图像信息来进行导航，实现图像辅助导航以及通过已有的地形数据，加入地形匹配算法进行导航。这些方法都可以为无人机提供更为可靠，精度更高的导航信息。

相信随着导航技术的发展，MEMS 传感器的普及使用，控制器性能的增加，低成本高精度的导航系统的实用性以及在成本上的优势将逐渐凸显，并且会有很大的发展前景。

致 谢

在论文完成之际，向所有帮助过我的人表示诚挚的感谢！

衷心感谢我的导师张晓晖教授，他严谨的治学态度，渊博的专业知识，和蔼可亲的待人风范潜移默化地影响到了我。在三年的硕士研究生期间，他所提倡的自由创新的学术理念给了我充分的发挥空间，他不仅鼓励我们在感兴趣的研究内容上积极探索和做深入研究，而且还提供机会让我们尽量接触到更多不同的领域的学科，拓宽我们的视野和思维方式。

衷心感谢我的企业导师，西安瑞日发展电子有限公司的刘康总工程师，还有工程师王浩、王勇吉对我的指导。为了快速让我进入到课题的研究，给我提供了很多宝贵的资料和经验，还有硬件实验平台。我们经常在一起进行算法讨论，去野外进行飞行实验。他们严谨和积极的工作态度以及对技术的执着，给我以深刻的影响。

衷心感谢工程训练中心的刘青副教授，在他的引导下我从本科开始就开始学习到很多在工程应用中的技术，让我从一个普通的本科生逐渐成长为动手能力较强的硕士生。在学习的过程中，有很多的工作都是在他的指导下完成的，他对技术的热爱以及积极生活态度深刻地影响到了我。

在课题的研究过程中，还得到了公司其他员工的帮助，他们是赵婉、高森、蒋雁飞、李攀，在此谨向他们表示衷心的感谢。还要感谢课题组的老师们，他们是李娜、侯云、梁茂、戴世通。感谢我的同门和师弟师妹们，他们是陈涛、杨洁、朱伟、李晨晔、刘浩林、李薇、周伟强、李娇、关赵琦、刘康、李文心、康辉、张杰，感谢他们平时对我学习和生活上的帮助。

感谢我的家人和男朋友，他们的支持和鼓励是我永远的力量和精神源泉。

最后再次感谢所有关心、支持和帮助我的人。