

# 基于物联网的空间飞行器姿态监测系统设计

郭永玲

(广东科学技术职业学院 计算机工程技术学院, 广东 珠海 519090)

**摘要:** 针对传统监测系统监测精准度低, 导致监测效果差的问题, 提出设计一种基于物联网的空间飞行器姿态监测系统; 根据监测系统结构图, 对上位机进行实时监控, 调控飞行器姿态, 构建数据库, 存储并记录参数指标, 由此设计硬件框图; 构建对话框, 分析界面和相应程序功能, 改进系统软件监测功能程序流程, 根据显示的空间飞行器飞行姿态数据变化情况, 对数据通信模块、控制模块展开分析, 并添加 emWin 移植界面, 完成基于物联网的空间飞行器姿态检测系统设计; 实验结果表明, 该系统监测时间较短, 检测精准度高, 大幅度提高了系统的监测效果。

**关键词:** 物联网; 空间飞行器; 飞行姿态; 监测系统

## Design of Attitude Monitoring System for Space Vehicle Based on Internet of Things

Guo Yongling

(Guangdong Polytechnic of Science and Technology, College of Computer Engineering and Technology, Zhuhai 519090, China)

**Abstract:** Aiming at the low accuracy and low monitoring effect of traditional monitoring system, a spacecraft attitude monitoring system based on Internet of things is proposed. According to the monitoring system structure, real-time monitoring of the host computer, control aircraft attitude, build the database to store and record the parameters, the design of hardware; build dialog interface and the corresponding analysis program function, improve the system software program flow monitoring function, according to space flight attitude data change display, analyze the data communication module, control module, and add the emWin transplant interface, complete the design of the spacecraft attitude detection system based on Internet of things. The experimental results show that the system has a short monitoring time and high precision, which greatly improves the monitoring effect of the system.

**Keywords:** Internet of things; space vehicle; flight attitude; monitoring system

## 0 引言

空间飞行器姿态监测系统是一个极其复杂的系统, 在现代空间任务中, 对于飞行器的姿态捕获与实时监控能够为飞行器机动性能进行良好检验<sup>[1]</sup>。飞行器姿态监测系统具有非线性和强耦合性, 针对这样一个多输入多输出的非线性网络系统进行研究, 是一个相当大的挑战, 但也是未来发展的一种必然趋势<sup>[2]</sup>。传统姿态机动监测系统利用欧拉角作反馈信号, 对发动机摆角进行控制, 完成姿态监测。该系统的监测耗时较短, 但因干扰问题监测精准度较低<sup>[3]</sup>。在物联网环境下, 对空间飞行器姿态进行监测, 具有灵活性强、方便维护和故障诊断等优点<sup>[4]</sup>。基于此, 提出基于物联网的空间飞行器姿态监测系统设计。设计硬件框图, 保证系统硬件良好鲁棒性; 采用 Visual C++6.0 作为系统设计环境, 对空间飞行器软件部分进行设计, 并添加 emWin 移植界面, 提高系统监测精准度。通过实验得出结论, 该系统具有良好监测效果, 精准度高且耗时间短。

## 1 系统设计

在物联网环境下对空间飞行器的姿态进行监测, 需要满足姿态信息的实时传输, 所设计的监测系统必须是一种能够通过全分布式网络进行实时反馈的监测系统, 系统应包括飞行姿态

敏感器、控制器和执行结构信息等功能模块<sup>[4]</sup>。为了提高监测精准度, 所设计的空间飞行器姿态监测系统应减少各个部分之间的连接线, 促使系统维护和诊断故障都变得极为简单, 并提高系统灵活性。现代空间任务逐渐变得复杂, 依据空间飞行器新技术指标, 还应对所设计的监测系统的可靠性和容错性方面进行充分满足。综合以上需求分析, 对基于物联网的空间飞行器姿态监测系统进行设计。具体描述如下:

### 1.1 整体架构设计

传统空间飞行器姿态监测系统将网络作为信号传输的主要环节可引进闭环控制回路, 因此产生了诸多问题, 比如由于网络环境复杂所引起的时间滞后和数据丢失等问。其中对于空间飞行器监测系统影响最大的是时间滞后问题, 由于信号传输是无法避免的, 为此常常会导致系统性能出现下降, 稳定性失调, 致使监测精度大幅度降低<sup>[5]</sup>。因此利用物联网, 对空间飞行器姿态监测系统的整体架构进行重新设计, 从而提高系统的监测精度。

在物联网环境下, 空间飞行器姿态监测系统是以四轴飞行器为主要研究对象, 采用上位机进行实时监控, 设计对飞行器姿态有效控制的系统。在现代空间任务逐渐变得复杂, 空间飞行器新技术指标, 无论是可靠性, 还是容错性都不能满足人们需求。为此需在上位机中添加实时空间飞行器飞行的姿态信息, 将此信息传送到控制芯片中, 用来调控飞行器姿态; 构建数据库, 存储并记录各个参数指标数据, 用户还可通过对上位机界面的调整来改变飞行器的飞行参数, 并对数据进行储存<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2017-12-25; 修回日期: 2018-01-29。

作者简介: 郭永玲(1980-), 女, 河南商丘人, 讲师, 主要从事计算机应用方向的研究。

依据重新设计的系统整体架构，对系统各硬件组成部分进行改进。

### 1.2 硬件设计

监测系统是由 5 个部分构成的，分别为上位机监测系统、姿态传感器、电机、飞行器和 STM32 传感器。其中上位机监测系统与姿态传感器、STM32 传感器共同组成姿态自由度测量装置，垂直方向的测量范围为  $\pm 180^\circ$ ，水平方向的测量范围为  $\pm 20^\circ$ ，测角精度  $\leq 0.01^\circ$ ；电机的转动惯量设置为  $100 \sim 200 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，额定电压为 24 V，空载转速为 6 420 r/min，转矩灵敏度为  $35.1 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m/A}$ ，最大连续电流为 1.35 A。给出监测系统结构如图 1 所示。

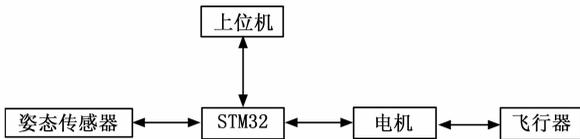


图 1 监测系统结构图

系统结构主要是由 LPC1788 微处理器、LCD 显示控制屏、FLASH、复位模块、时钟模块、电源模块和无线收发模块组成的，具体硬件结构设计如图 2 所示。

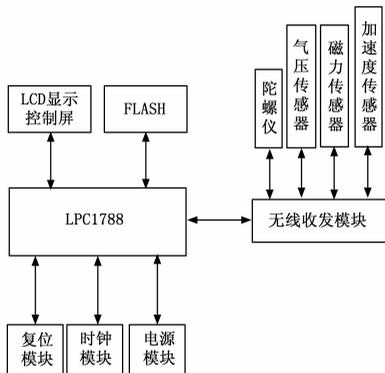


图 2 监测系统硬件主体框图

由图 2 可知：1) LPC1788 微处理器是由 ARM Cortex-M3 型号的 32 位内核高速微处理器组成的，最高工作频率可达到 150 MHz，外部资源是十分丰富的，其中包括 128MB 的 FLASH 存储器、一个用于静态存储外部信息的外部存储控制器、LCD 显示屏控制器等，微处理器作为人机界面的主控制器，主要负责对各个模块进行控制，并实现通信功能。

2) LCD 显示屏控制器采用了 6 寸液晶屏，具有 565RGB 模式的高分辨率，40 脚数字接口。在该接口处内置 LCD 显示控制器，其中包括了用于图像传输的数据总线和 LCD\_DCLK、LCD\_ENAB\_M 等必要控制信号<sup>[7]</sup>。利用触屏方式对控制屏进行显示，可以实现空间飞行器在物联网环境下的简单操作目的。空间飞行器数据显示和刷新都是通过屏幕显示出来的，系统需要具有足够大的内存空间才能将完整数据存储，为此，在设计时需扩大内存容量。

3) 无线模块是在原始设计思路基础上增加了功率放大器功能，该功能可通过功率放大器电路将无线模块最大化的输出功率进行放大，同时接收通过 LAN 电路所增加的信号强度，该方式可以有效增加无线模块通信距离。

系统硬件部分设计主要是以“四轴四翼”的空间飞行器为

对象，利用旋转翼作为飞行引擎。在物联网环境下进行空中飞行，能够实现多种飞行姿态的转换。测量飞行器飞行姿态时，采用惯性传感器，在陀螺仪和加速度计两个方面进行分析。陀螺仪主要分析飞行器在水平方向和垂直方向的姿态变换速度，控制测角误差在  $0.01^\circ$  以内。加速度计主要分析飞行器在水平方向和垂直方向加速度值，从而提高飞行器姿态的监测精度。充分考虑空间飞行器精准性、功耗和稳定性等因素，需选择 MPU6050 作为姿态传感器，能够准确跟踪运行轨迹，同时该传感器还具有冲击承受能力，系统功率消耗较低，并能快速进行数据传输，准确地跟踪轨迹为监测精度提供保障。系统采用 MiniSTM32 作为数据传输研发平台，将通过姿态传感器的数据传输给上位机进行监测，同时接收来自上位机整合的命令，进而对空间飞行器的飞行姿态进行准确跟踪，保证系统硬件的良好鲁棒性，为系统软件设计和系统整体监测精度的提高奠定良好的基础。

综上所述，通过加速度计从水平方向和垂直方向上，对飞行器姿态的测角进行准确测量和控制，并利用姿态传感器对运动轨迹进行准确跟踪，有效实现监测精度的提高。

### 1.3 软件设计

在物联网环境下对空间飞行器软件部分进行设计，采用模块化编程思想，其中飞行数据功能模块和控制飞行器模块是由显示屏进行实时显示的<sup>[8]</sup>。在图形界面上移植相应芯片后直接调用图形库中的 API 函数，并创建对应飞行器监测系统所需要的窗口小工具，如果接收到了来自飞行器上的各种传感器传输过来的信息，那么需要经过微处理器进行解码，将解码后的数据实时显示在 LCD 显示屏上。

软件设计需采用 Visual C++ 6.0 作为系统设计环境，构建对话框，经过界面设计与相应程序编写，完成具有监测和控制的飞行器姿态功能软件部分设计。通过软件界面设计，用户能够获取飞行器姿态信息，通过设置参数，调整空间飞行器飞行姿态，从而提高系统监测程序的监测准确性。

在 Visual C++ 6.0 平台上，对上位机进行实时监测，需要发挥该平台编译环境功能，可有效达到实际效果。利用 Visual C++ 6.0 可实现主机与外界设备连接，其接口数据能够通过该部分连接到存储数据库中，具体程序流程设计如图 3 所示。

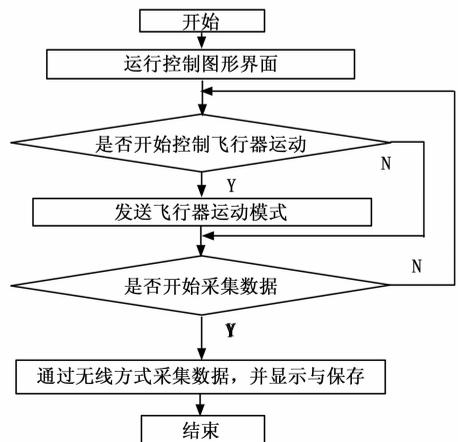


图 3 程序流程图

根据显示空间飞行器飞行姿态数据变化情况，可设置人为数值输入或者滑杆控制，通过模式切换可选择一种调节飞行器

飞行姿态, 调节后改变信息, 按照协议格式经过编码发送给飞行器进行姿势调整。

### 1.3.1 数据通信模块

数据通信模块可实现上位机与下位机数据的实时连通, 监测系统对全部数据进行扫描, 可完成实时数据的周期性任务, 接收来自下位机进行数据上传的姿态信息, 通过上位机对控制命令的下达, 可以使下位机实时姿态信息能够及时上传, 以数据包信息进行实时频率刷新, 促使监测界面中相应参数传送到数据分析库中, 辅助用户对空间飞行器的飞行状态进行了解<sup>[9]</sup>。系统中所采集到的飞行姿态信息需通过无线模块将数据发送出去, 通过接收端对上位机进行数据实时传送, 由上位机将相关姿态数据整合存入数据库中。

### 1.3.2 控制模块

在控制模块中, 飞行器姿态分析主要利用的是加速度计和陀螺仪对信息进行测量, 其中陀螺仪主要分析飞行器在水平方向和垂直方向姿态变换速度, 而加速度计主要分析飞行器在水平方向和垂直方向加速度值。加速度计主要受到运行加速度影响在较短时间内能够进行精准校正, 但是误差不会随着时间变化而发生改变。利用系统在频率上的互补特性, 采用互补滤波算法对数据进行融合, 可提高飞行器姿态测量精度和动态响应。

### 1.3.3 emWin 的移植和界面显示

物联网环境下的控制系统灵活性强、维护方便可随时进行故障诊断, 飞行器控制与网络控制系统相互结合能够成为未来空间飞行器的发展趋势。将网络作为信号传输的主要环节可引进闭环控制回路, 但是也因此产生了诸多问题, 比如由于网络环境复杂所引起的时间滞后和数据丢失等问题, 其中对于网络监测系统影响最大的是时间滞后问题, 由于信号传输是无法避免的, 为此常常会导致系统性能出现下降, 甚至稳定性失调<sup>[10]</sup>。为此, 需在软件结构中移植 emWin 可直观看出图形库界面窗口数据信息, 其中 emWin 移植步骤如下所示:

1) 将从 NXP 半导体中获取不开源的 emWin, 进行加载后可开发出环境源文件目录。

2) 移植 GUIConf.c 文件, 其中 \_aMenor 数组空间为 "GUI\_RAM", 将 GUI 缓存放入 SDRAM 中, 可实现函数的初始化调用, 进而完成内存分配。

3) 完成 GUIConf.c 文件内存分配后, 可对一些配置进行定义。

4) 配置 LCDConf.c 文件内容。

移植工作完成后, 可修改后续程序, 将工程目录添加到声明部分, 可直接调用图形库中的 API 函数, 并在 LCD 控制显示屏上对图形、文字和动画特效进行展示。设计小型空间飞行器监测系统, 可实时接收来自空间飞行器的飞行数据, 对于初始界面的设计如图 4 所示。

由图 4 可知: 数据显示功能界面占据整个对话框的二分之三, 空间飞行器将各个传感器数据进行滤波处理, 经过相关转换、处理后, 将温度、经纬度和姿态角信息通过无线模块发送给监测系统。空间飞行器海拔高度值可将大气压计算出来, 为了降低运行量, 可通过监测系统来完成。计算出来的实际海拔, 通过曲线变化能够将空间飞行器的飞行姿态分析出来, 通常情况下, 右侧部分是操纵界面, 即为控制功能界面, 可选择开启或关闭; 左侧是飞行角度控制界面, 通过控制飞行器水平旋转和升降来改变飞行的俯仰角, 控制飞行器向前或者向后运

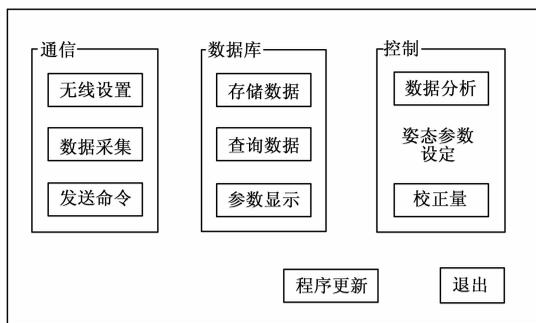


图 4 系统监测界面图

动, 加快油门可调节飞行器的飞行速度<sup>[11]</sup>。针对油门、副翼和升降舵, 设置滑竿控制和人为数值, 根据需求调整飞行器参数值, 可达到稳定飞行状态, 具有较高灵活性。

在屏幕中间设置三个等级的警报提示, 其中一级表示空间飞行器的电池使用不足; 二级表示无线模块无法接受命令信号; 三级表示监测范围遇到较大障碍物, 提示对飞行航向进行调整, 对这三种异常情况进行警报设置可给飞行器的飞行姿态监测的精确度带来保障。

综上所述, 依据监测系统的监测需求, 结合物联网特点, 对空间飞行器姿态监测系统整体架构设计, 选用 LPC1788 微处理器、LCD 显示屏控制器等高性能组件对系统硬件进行改进, 采用 Visual C++6.0 开发环境, 对系统软件监测程序的数据通信模块、控制模块和界面显示模块进行优化开发, 完成基于物联网的空间飞行器姿态监测系统的设计。

## 2 实验

为了验证基于物联网的空间飞行器姿态监测系统设计的合理性进行了实验。

### 2.1 实验参数设置

确保实验过程中其他参数一致, 需保持空间飞行器飞行时的仰俯角、翻滚角和航向角度大小保持不变, 设置实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数设置

参量	数值
温度	35℃
海拔	188m
经度	108°
纬度	25°
大气压	99kPa
仰俯角	0°
翻滚角	-2°
航向角	35°

开始时, 空间飞行器重心不能完全在中心点附近运行, 俯仰角和翻滚角会有些不同, 但是由于系统中的自动调节器, 使飞行器运行时俯仰角和翻滚角曲线又处于平稳状态, 且保持一致。在物联网环境中进行空间飞行器监测系统性能实验, 需在飞行过程中注意飞行速度和飞行高度等外界因素变化情况, 促使系统参数也发生相应变化, 在剧烈运动时, 甚至会出现影响系统性能的因素, 为此监测系统设计要针对系统稳定性和扰动条件下对动态品质和静态精度做出相应调整, 并展开分析。

## 2.2 实验结果与分析

在实验过程中,从空间飞行器起飞开始,就需对飞行器姿态、位置等信息进行实时监测,同时采集数据,并对上位机监测系统中的数据进行实时显示,促使用户随时了解空间飞行器运行情况,利用图形方式展现数据融合后的效果,整合数据,将命令发送给控制器,对飞行姿态进行实时监测。为了使实验结果更加具有可靠性,将传统系统与改进系统对飞行器姿态监测水平、垂直效果进行对比,结果如图5所示。

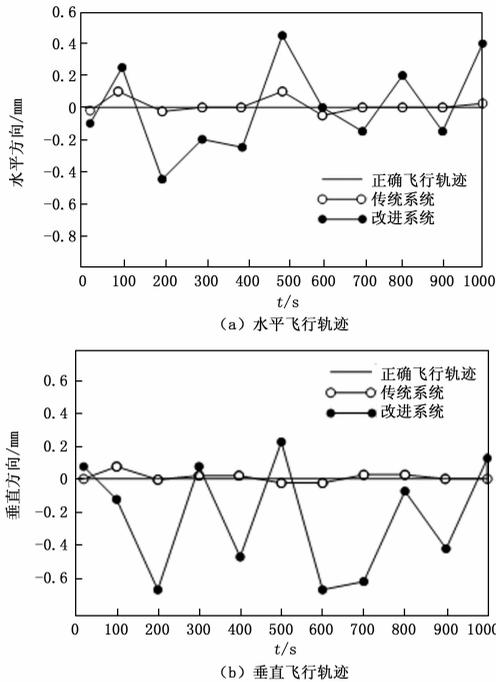


图5 两种系统监测效果对比

由图5可知:用户对空间飞行器进行自由飞行运作时,其姿态基本呈现平稳状态,变化幅度不太大。使用传统系统对水平飞行轨迹进行监测时,其姿态呈上下波动,幅度较大,且在时间分别为200 s和500 s时,监测到的姿态误差最大,而改进系统在200 s时基本与正确姿态一致,在500 s时,虽有误差,但是与正确姿态相差较小;使用传统系统对垂直飞行轨迹进行检测时,其姿态呈上下波动,幅度较大,且在时间分别为200 s和600 s时,监测到的姿态误差最大,而改进系统在200 s和600 s时,监测到的姿态基本与正确姿态一致。对比传统系统和改进系统的监测结果可得,改进系统的监测姿态的误差远远小于传统系统监测姿态的误差,充分说明改进系统的监测精度更高。

将传统系统和改进系统监测空间飞行器姿态变化所耗费的时间进行对比,结果如表2所示。

表2 两种系统监测时间对比

实验次数	传统系统/s	改进系统/s
1	2	2
5	9	6
10	18	15
20	40	22
50	90	50
100	185	90

由表2可知:当实验次数为1时,传统系统与改进系统所耗费时长是一致的;当实验次数为5时,传统系统所耗费时长为9 s,改进系统所耗费时长为6 s,随着实验次数增加,传统系统耗费时间较长。耗费时间越长,会导致系统在监测过程中,受到更多其他因素的干扰,从而使系统监测精度大打折扣。因此对比传统系统和改进系统的实验结果可知,改进系统的监测耗费时间更短,证明其监测精度更高。

## 2.3 实验结论

根据上述实验内容,可得出实验结论:使用传统系统对水平飞行轨迹进行监测时,其姿态呈上下波动,幅度较大,且在时间分别为200 s和500 s时,监测到的姿态误差最大,而改进系统在200 s时基本与正确姿态一致,在500 s时,虽有误差,但是还是与正确姿态相差较小;使用传统系统对垂直飞行轨迹进行监测时,其姿态呈上下波动,幅度较大,且在时间分别为200 s和600 s时,监测到的姿态误差最大,而改进系统在200 s和600 s时,监测到的姿态基本与正确姿态一致。传统系统与改进系统监测时长相比,所耗费的时间较长,由此可知,改进系统监测时间较短,且准确率较高。

## 3 结束语

提出设计的基于物联网的空间飞行器姿态监测系统能够有效解决传统监测系统检测精度低的问题,其结构简单、操作方便,成本低,可为用户提供良好互动界面,控制安全可靠,监测效果良好,可有效抵抗空间飞行器在飞行过程中进行姿态变换时受到的干扰力,确保姿势平稳,方便系统监测。通过实验结果表明,该监测系统监测耗费时间短,水平方向和垂直方向的监测水平较好,能够满足物联网空间飞行器姿态监测的要求。但该系统尚且存在不足之处,未来将针对系统的监测稳定性进行深入研究,为飞行器的姿态监测技术提供有效借鉴。

## 参考文献:

- [1] 杨青运,陈 谋,吴庆宪. 考虑输入饱和的近空间飞行器姿态容错控制 [J]. 控制理论与应用, 2016, 33 (11): 1449-1456.
- [2] 陈桂鹏,秦文婧,丁 建,等. 基于物联网技术的生猪存栏远程监测系统设计与验证 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (5): 942-950.
- [3] 方根在,黎福海, Fang Genzai, 等. 小型飞行器姿态估计系统设计与实现 [J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 20 (3): 474-480.
- [4] 郭建国,张添保,周 军,等. 临近空间高超声速飞行器匹配化滑模姿态控制 [J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39 (9): 2081-2086.
- [5] 符长友,蔡洪斌,刘 昊,等. 基于物联网的微型四旋翼飞行器的设计 [J]. 现代电子技术, 2016, 39 (13): 108-111.
- [6] 胡永江,武 斌,陈 鹏,等. 小型尾坐式飞行器航姿测量系统设计与验证 [J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39 (4): 866-875.
- [7] 郑华清,曾庆化,陈维娜,等. 基于MCS的四旋翼飞行器航迹追踪控制研究 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (11): 81-84.
- [8] 马晓爽,石征锦. 一种改进 Fuzzy-PID 技术的飞行器姿态控制系统设计 [J]. 电子技术应用, 2016, 42 (10): 21-23.
- [9] 杨鹏飞. 四旋翼飞行器姿态控制系统优化设计 [J]. 计算机仿真, 2017, 34 (5): 112-115.
- [10] 郭宗易,周 军,郭建国. 新型高超声速飞行器耦合姿态控制系统设计 [J]. 宇航学报, 2017, 38 (3): 270-278.
- [11] 熊长智. 物联网环境下的智能家居发射控制系统的设计 [J]. 电子制作, 2017 (21): 55-56, 59.