

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2012.05.005

# 小型旋翼机地面站导航系统

白宁, 李剑川, 胡小平

(国防科学技术大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

**摘要:** 针对小型旋翼机的特点, 设计开发一种人工遥控导航、自主导航与编队飞行相结合的小型旋翼机地面站导航系统。介绍小型旋翼机地面站系统构成, 根据其飞行监测和控制要求, 利用 VC++ 可视化语言为开发工具, 设计小型旋翼机地面站导航系统软件, 讨论编队飞行队形方式, 并以模糊控制原理对编队飞行控制进行算法研究。结果表明: 该系统可进行飞行状态显示、姿态控制、数据存储、视频显示和航迹显示, 为下一步研究一站多机的编队协同飞行控制奠定基础。

**关键词:** 小型旋翼机; 导航系统; 编队飞行; 模糊控制

**中图分类号:** TJ03 **文献标志码:** A

## Navigation System of Mini-Gyroplane Ground Station

Bai Ning, Li Jianchuan, Hu Xiaoping

(School of Electromechanical Engineering & Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Aiming at the features of mini-gyroplane, design a ground station navigation system of mini-gyroplane based on manual remote control, autonomous navigation and formation flight combined. Introduce the mini-gyroplane ground station system construction, according to its flight monitoring and control requirements, adopt VC++ visual language as development tool, design navigation system software of gyroplane ground station, discuss formation flight order, use fuzzy control principle to research control algorithm of formation flight. The research shows that the system can carry out flight state display, gesture control, data storing, video display and flight path display. It lays the foundation of multi-formation flight control with one station in the future study.

**Key words:** mini-gyroplane; navigation system; formation flight; fuzzy control

### 0 引言

随着微电子技术、电机控制技术的发展和导航技术的广泛应用, 未来无人机逐渐向小型、多能的方向发展, 成为当前各军事大国非常重视且投入巨资进行研究的领域。其中, 微小型旋翼机<sup>[1]</sup>具有体积小, 隐蔽性好, 机动性好, 垂直起降的特点, 可在空中作悬停飞行; 在军事上, 小型旋翼机可以执行空中侦察、目标跟踪、精确打击等任务。在民用上, 小型旋翼机在各类灾情监视、交通巡视、搜索搜救和航空摄影测绘等方面具有广泛的用途。因此, 笔者针对小型旋翼机的特点, 设计开发了一种人工遥控导航、自主导航与编队飞行相结合的小型旋翼机地面站导航系统。

### 1 系统构成

小型旋翼机地面站<sup>[2]</sup>是由地面站硬件设备和导航系统软件 2 部分组成, 如图 1 所示。

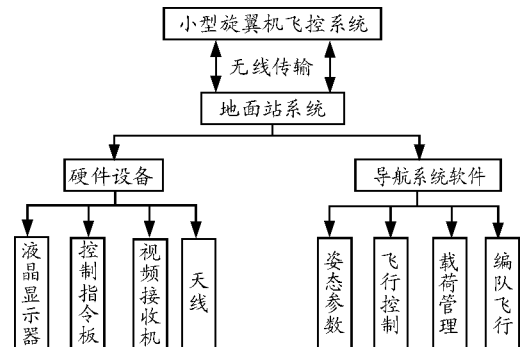


图 1 系统构成

#### 1.1 导航系统软件

导航系统软件是运行在地面站计算机上的软件系统, 是小型旋翼机飞行控制和任务载荷管理系统的核心部件, 主要完成飞行任务管理、任务载荷管理、自主飞行控制和编队飞行控制等功能。飞行任务管理包括飞行姿态显示控制、实时视频显示、GPS 导航定位和航线显示规划。任务管理包括任务载荷的状态参数显示与任务载荷实时控制。

收稿日期: 2011-12-21; 修回日期: 2012-01-13

作者简介: 白宁(1984—), 男, 重庆人, 硕士研究生, 从事导航控制技术研究。

### 1.2 地面站硬件设备

地面站硬件设备由液晶显示器、操控指令主板、视频接收机、操纵摇杆、键盘以及天线等组成。地面站与小型旋翼机之间建立了 2 条无线数据链路: 机载视频链路与控制指令数据链路。机载视频发射机将标准视频信号发射到地面站, 经过解调最终在地面站上显示出来。控制指令无线链路采用 RS232 通信协议, 使用串口通信实现它们之间的通信。

## 2 导航系统软件总体设计

地面站导航系统软件的主要任务是飞行监控、地面遥控、任务载荷管理以及编队飞行控制。导航系统软件是整个地面站控制的核心部分, 应具有良好的实时性和可靠性, 友好的用户界面以方便用户操作。地面站导航系统开发环境使用 Visual C++6.0<sup>[3-4]</sup>, 基于性能方面的考虑, 采用的应用程序框架是 VC++/MFC。

### 2.1 界面设计

鉴于导航系统软件的主要任务, 将界面设计分为飞行状态界面、飞行控制界面和图像监视界面。软件界面组成结构如图 2 所示。

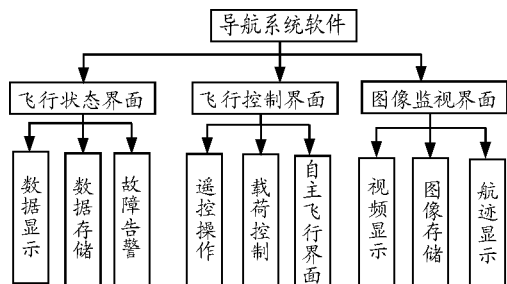


图 2 界面总体设计

1) 飞行状态界面: 数据显示界面显示飞行姿态信息、操纵姿态信息、GPS 信息、空速和电池容量信息等, 其中飞行姿态信息、气压高度和空速应用 NI 公司 LabWindows/CVI 控件, 它的嵌入可以使数据显示更加直观。CWKnob 仪表控件实现表盘显示主要调用 SetValue(const VARIANT &), 模拟飞机驾驶舱仪表操作; 故障告警可以通过故障灯闪烁方式, 使地面站及时接受故障信息; 数据存储用于保存实时数据, 为后续的分析提供数据源。

2) 飞行控制界面: 包括遥控操作、载荷控制和自主飞行界面。遥控操作通过操作员一系列操作, 同时通过图像监视实施飞行控制; 载荷控制是对任务载荷的控制, 包括摄像头的开\关, 焦距调整等指令, 这些指令通过添加“BUTTON”按钮和

“SCROLLBAR”按钮控件实现指令确认; 自主飞行界面是在小型旋翼机超出视距范围时, 通过下拉菜单“LIST”控件实现遥控与自主飞行模式的切换。

3) 图像监视界面: 由视频图像显示、图像存储和电子地图上的航迹显示组成。加载地图和地图浏览通过使用 ArcGIS 地理信息系统 ArcObjects 组件的 MapControl 和 ToolbarControl 2 个 ActiveX 控件来快速实现。

### 2.2 界面编程实现

使用 Visual C++6.0 可方便灵活的编程, 具有程序运行效率高和界面友好美观的优势, Visual C++6.0 为用户提供了一个 ActiveX 控件 Microsoft Comm Control (MSComm), 利用它可以很方便地进行计算机串行口的通讯管理。

1) 在飞行状态界面上, 插入 MSComm 控件, 设置其相应属性值。在该控件的 OnComm 事件中, 通过数据解算、数据显示、数据存储等处理模块对下传数据处理, 将其赋值给各类飞行状态文本框 (Text-Box) 控件进行显示和保存, 并附加相应的 CWKnob 仪表控件, 使地面站更直观的显示小型旋翼机的飞行状态。

2) 在图像监视界面中, 通过 (Tab-Box) 控件切换视频显示与航迹显示 2 种观察模式, 在航迹显示模式下, 根据读取出的 GPS 方位值, 记录到航迹存储数组中, 然后通过多点绘制线条和绘制位图的方式, 实现实时航迹显示; 当导航系统接收到下一位置数据时, 重新绘制航线, 并将上次绘制旋翼机位图删除, 在当前航点所在的位置处绘制。

3) 在飞行控制界面中, 针对人工遥控飞行和自主导航飞行的应用需求, 在设计开发时添加组合框 (Combo-Box), 设置其相应属性值, 分别定义人工遥控和自主导航。利用 Windows API 通信函数对控件进行串口编程。当小型旋翼机超过视距范围时, 选中组合框 (自主导航), 小型旋翼机收到指令按照预定航线自主飞行。

## 3 编队飞行控制设计

小型旋翼机编队飞行, 就是将多架小型旋翼机按照一定的队形进行排列, 并使其在整个飞行过程中保持队形不变, 可以大大提高执行任务效率。

### 3.1 队形控制方式

笔者采用长机-僚机型 (主从型) 编队方式, 基本思想是长机按照预定航线飞行, 而让僚机跟踪长机

的位置以及方向,且保持一定距离<sup>[5-6]</sup>。如果编队的小型旋翼机在 3 架以上,则按照分布式控制编队策略,每架旋翼机只与相邻的旋翼机进行交互,如图 3 所示:长机为 V,僚机 V<sub>1</sub>以长机 V 作为参考并保持相对位置,而僚机 V<sub>2</sub>以僚机 V<sub>1</sub>作为参考并保持相对位置,就可以保持在整个队形中的位置。

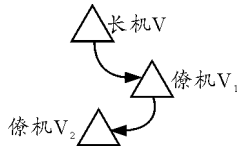


图 3 编队队形设计

整个编队队形是由若干个基本的两机跟随飞行编队组成,具有良好的扩充性。由于每架旋翼机都以前面的旋翼机行为作为参考,虽然控制响应有了一个延时,但信息交互少、计算量大大减少,且可以避免碰撞。

### 3.2 编队飞行队形控制器设计

笔者根据模糊控制原理<sup>[7]</sup>,研究同一水平面内的编队飞行,设计模糊控制器的目的是保证长机和僚机之间的相对距离不变,并且保持偏航角以及飞行速度与长机一致。因此设计 2 个模糊控制器:控制速度的模糊控制器输入为速度偏差及其导数  $[\Delta v, \Delta v']$ ,输出为速度控制指令  $V$ ,控制偏航角的模糊控制器输入为偏航角偏差及其导数  $[\Delta \psi, \Delta \psi']$ ,输出为偏航角控制指令  $\psi$ 。速度模糊控制器主要设计过程如下:

首先将僚机的速度误差以及其误差导数  $[\Delta v, \Delta v']$ ,通过模糊化运算转化为模糊信号  $v^f$ ;僚机速度误差  $\Delta v$ ,其变换范围  $[\Delta v_{\min}, \Delta v_{\max}]$ ,进行尺度变换为  $\Delta v_N$ ,采用线性变换,则

$$\Delta v_N = \frac{\Delta v_{N\min} + \Delta v_{N\max}}{2} + k(\Delta v - \frac{\Delta v_{\min} + \Delta v_{\max}}{2}) \quad (1)$$

式中  $k = \frac{\Delta v_{N\max} - \Delta v_{N\min}}{\Delta v_{\max} - \Delta v_{\min}}$  为比例因子,且速度误差

及其误差导数  $[\Delta v, \Delta v']$  尺度变换论域为  $[\Delta v_{\min}, \Delta v_{\max}]$ 。导数误差  $\Delta v'$  同样进行模糊化后为  $\Delta v'_N$ 。接下来进行模糊分割,隶属度函数形状为三角形,模糊分割个数有 7 个: NB(negative big) 负大、NM(negative medium) 负中、NS(negative small) 负小、Z0(zero) 零、PS(positive small) 正小、PM(positive medium) 正中、PB(positive big) 正大。

由  $\Delta v_N$  和  $\Delta v'_N$  根据模糊规则库推理得到  $v^f$ ,模糊规则库是根据专家知识和编队飞行理解制定,模糊规则的一般形式为: If e is NS and ec is NB then u is PB。当误差  $e$  为正(PB)时,若此时误差导数  $ec$  也为正,则说明误差有继续增大的趋势,控制量应为负(NB)以尽快消除误差。基于此,建立了 49 条模糊规则,在此不一一赘述。

最后将  $v^f$  清晰化得到控制信号  $v$ ,清晰化计算文中采用加权平均法<sup>[8]</sup>,此方法适合于输出模糊集的隶属度函数是对称的情况,其计算公式为:

$$e^* = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_{c_j}(e_j)e_j}{\sum_{j=1}^n \mu_{c_j}(e_j)} \quad (2)$$

式中:  $e_j$  和  $\mu_{c_j}(e_j)$  分别表示各对称隶属度函数的质心和隶属度函数数值。清晰化后,同样进行线性尺度变换为精确控制信号  $v$ ,变换方法同模糊化过程的尺度变换相似。偏航角模糊控制器的设计同样可以按照上述设计过程得到。

## 4 结束语

小型旋翼机地面站导航系统可进行飞行状态显示、姿态控制、数据存储、视频显示和航迹显示,具有简单实用、开发周期短等优点。同时,还讨论了利用模糊控制实现编队飞行队形控制,可为下一步研究一站多机的编队协调飞行控制做好准备。

### 参考文献:

- [1] 吴剑. 碟形无人直升机总体设计技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2004.
- [2] 梁秋懂, 程维明, 潘志浩. 超小型飞行器GPS自主导航系统地面站设计[J]. 机电一体化, 2002(6): 23-26.
- [3] 钟岱晖. 在实践中成长C++开发之路[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [4] 杨永国. Visual C++6.0实用教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [5] Li Y, Li B, Sun Z, et al. Fuzzy Technique Based Close Formation Flight Control[J]. IEEE, 2005, 3(5): 40-44.
- [6] Dusan M S, Gokhan Nalhan, Teo R. Decentralized Overlapping Control of a Formation of Unmanned Aerial Vehicles[J]. Automatic, 2004, 40: 1285-1296.
- [7] 章卫国, 杨向忠. 模糊控制理论与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999.
- [8] 李国勇. 智能控制及其Matlab实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.