

# 无人驾驶 旋翼飞行器系统

蔡国玮 陈本美 李崇兴 王彪 著



清华大学出版社

# 无人驾驶 旋翼飞行器系统

蔡国玮 陈本美 李崇兴 王彪 著

清华大学出版社  
北京

Translation from the English language edition:

*Unmanned Rotorcraft Systems* by Guowei Cai, Ben M. Chen and Tong H. Lee

Copyright © Springer-Verlag London Ltd. 2011

Springer-Verlag London Ltd. is a part of Springer Science+Business Media. All Rights Reserved

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

#### 图书在版编目(CIP)数据

无人驾驶旋翼飞行器系统/蔡国玮等著.--北京:清华大学出版社,2012.7

ISBN 978-7-302-29388-0

I. ①无… II. ①蔡… III. ①无人驾驶飞行器—旋翼机—研究 IV. ①V47 ②V275

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第146191号

责任编辑:王一玲

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14 字 数:343千字

版 次:2012年7月第1版 印 次:2012年7月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

---

产品编号:044371-01

**此书献给我们的无人机研究团队和我们的家人**

**第二作者谨以此书献给他的初中物理老师**

**福建福清江镜镇前张小学初中部何忠麟先生**



# 前言

## FOREWORD

近些年来,世界各国的学术团体和军事机构对无人系统的研究与开发极其关注,无人系统(如无人飞行器、水下探测器、卫星和智能机器人等)在军事与民用领域均具有广泛的应用前景。研究和开发无人系统存在着颇多挑战,无人系统需要处理复杂与不确定环境引起的各种情形,如未预期的障碍、敌人的攻击和设备故障等;除此之外,无人系统还需要与地面技术人员之间的通信以及考虑各种各样的因素,其控制系统既要集成基本的输入输出控制律,还要拥有决策与任务规划等高级功能,其软件系统必须具备执行从硬件驱动到设备操作管理、从传统的输入输出控制律实现到任务规划和事件管理的全部任务。

本专著旨在探索全功能小型无人旋翼飞行器的研究与开发,这类无人系统一般由一架装配必备机载配件的小型旋翼飞行器和一台地面站组成,是通信、计算和控制领域先进技术的综合体,也是测试与实现现代控制技术极好的实验平台,然而,其开发过程也是极其具有挑战性的。小型旋翼飞行器,如航模直升机,其飞行动力学特性与同类大型飞行器相似,但却拥有其自身独有的特性,如装配稳定杆、旋翼刚性大和内嵌偏航角速率反馈控制等,除此之外,有限的载荷量也增加了从小型旋翼飞行器升级成全功能无人飞行器的难度。根据其各种特性与限制,需要精心设计一套重量轻且有效的机载系统,配备相应的机载与地面站软件,以满足系统辨识和自动飞行的需求,本书将详细讨论这些问题。本专著还突出强调了基于视觉的地面目标跟踪、协同控制和多机编队飞行等技术的研究。

本书面向的读者包括旋翼飞行器工业领域的工程师和无人航空器系统开发相关领域的研究人员,需要的背景知识包括空气动力学、控制工程、电气工程和机械工程领域的一些大学高年级或研究生一年级水平的课程。

本书的作者感谢新加坡国立大学无人机研究团队的全体成员,他们是林峰博士、彭可茂博士、董苗波博士、云奔博士、董翔续、郑晓练、王飞、赵世钰、范瑞靖、洪宗耀、崔金强和林静,感谢他们的帮助与贡献。特别感谢林峰博士对第 11 章的贡献。

感谢我们的合作者和访问我们的诸多学者,从他们身上我们学到了许多,感谢他们宝贵的贡献、建议和意见,特别感谢新加坡国立大学林继耀博士和林海博士、新加坡 DSO 国家实验室陈昶博士、清华大学郑大钟教授、山东聊城大学孙群教授、厦门大学罗德林教授、北京航空航天大学段海滨教授、南京理工大学蔡晨晓教授、新加坡南洋理工大学谢立华教授、加拿大不列颠哥伦比亚大学 Clarence de Silva 教授、美国德州大学阿灵顿分校 Frank Lewis 教授、美国海军研究生院康伟教授、美国空军研究实验室 Siva Banda 博士。

本书的第二作者特别感谢新加坡国防科技局 2003 年颁发给他的淡马锡青年研究奖以及资助的有关无人系统研究的启动基金,也感谢新加坡国立大学淡马锡国防系统研究所和

淡马锡实验室多年来的资助,感谢新加坡国立大学电气与计算机工程系和淡马锡实验室,为我们的无人机和相关研究活动提供了理想的工作环境。

最后,衷心感谢我们的家人在本书撰写过程中做出的牺牲、理解与鼓励,理所当然要把本书献给我们的家人和我们的无人机研究团队。

新加坡国立大学

蔡国玮、陈本美、李崇兴、王彪

2012年5月



# 中英文术语对照表

英文缩略语	英文全称	中文全称
A/D	Analog-to-Digital	模/数转换
AHRS	Attitude and Heading Reference System	航姿参考系统
AoA	Angle of Attack	攻角
CAM	CAMera software module	摄像机软件模块
CAMSHIFT	Continuously Adaptive Mean SHIFT	连续自适应均值漂移
CCD	Charge-Coupled-Device	电荷耦合器件
CEP	Circular Error Probable	圆概率误差
CF	Compact Flash	紧凑型闪存
CG	Center of Gravity	重心
CIFER	Comprehensive Identification from FrEQUENCY Responses	频域综合辨识软件
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor	互补对称金属氧化物半导体
CMM	CoMMunication software module	通信软件模块
CORBA	Common Object Request Broker Architecture	通用对象需求代理结构
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CTL	ConTroL software module	控制软件模块
D/A	Digital-to-Analog	数/模转换
DAQ	Data AcQuisition	数据采集软件模块
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	美国国防部高级研究计划局
DC	Direct Current	直流
DGPS	Differential Global Positioning System	差分全球定位系统
DLG	Data LoGging software module	数据记录软件模块
DoF	Degree of Freedom	自由度
DSP	Digital Signal Processing	数字信号处理
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed	地心固定坐标系统
EKF	Extended Kalman Filter	扩展卡尔曼滤波器
EMI	ElectroMagnetic Interference	电磁干扰
FPS	Frames Per Second	帧/秒
GCS	Ground Control Station	地面控制站
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
HITL	Hardware-In-The-Loop simulation	硬件在回路仿真
HSV	Hue, Saturation, Value color space	色调/饱和度/灰度色彩空间

英文缩略语	英文全称	中文全称
IMG	IMaGe software module	图像处理软件模块
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
INS	Inertial Navigation System	惯性导航系统
I/O	Input/Output port	输入/输出端口
JPEG	Joint Photographic Experts Group	联合图像专家组
Li-Po	Lithium-Polymer battery	锂聚合物电池
LMM	Lightweight Multi-role Missile	轻量级多用途导弹
LQR	Linear Quadratic Regulator	线性二次型调节器
MAV	Micro Aerial Vehicle	微型飞行器
MEMS	Micro-Electronic-Mechanical-System	微机电系统
MFC	Microsoft Foundation Class	微软基础类
MIMO	Multi-Input/Multi-Output	多人多出
MTE	Mission Task Element	任务基元
NA	Not Applicable	不可用
NAV	NAVigation software module	导航软件模块
NED	North-East-Down coordinate system	北东地坐标系统
Ni-Cd	Nickel-Cadmium battery	镍镉电池
Ni-Mh	Nickel-Metal hydride battery	镍氢电池
NUS	National University of Singapore	新加坡国立大学
OCP	Open Control Platform	开放式控制平台
OpenGL	Open Graphical Library	开放图形库
PCI	Peripheral Component Interconnect	外围器件接口
PCM	Pulse Code Modulation	脉冲编码调制
PD	Proportional-Derivative	比例-微分
PID	Proportional-Integral-Derivative	比例-积分-微分
PPM	Pulse Position Modulation	脉冲位置调制
RC	Radio-Controlled	无线电操控的
RFI	Radio Frequency Interference	射频干扰
RGB	Red, Green, Blue color space	红/绿/蓝色彩空间
RPM	Revolutions Per Minute	转/分
RPT	Robust and Perfect Tracking	鲁棒与完全跟踪
RTK	Real-Time Kinematic	实时运动
RTOS	Real-Time Operating System	实时操作系统
SAV	SAVe software module	存储软件模块
SBC	Single Board Computer	单板计算机
SISO	Single-Input/Single-Output	单入单出
SVO	SerVO software module	伺服软件模块
TPP	Tip-Path-Plane	桨尖轨迹平面
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	无人飞行器
UKF	Unscented Kalman Filter	无迹卡尔曼滤波器
VDE	Virtual Design Environment	虚拟设计环境
WGS	World Geodetic System	世界地理系统



# 符号表



以下列出的是所有与旋翼飞行器飞行动力学建模有关的关键参数符号,同时给出相应的物理描述和单位(如果有)。

$A_{b_s}$	从 $b_s$ 到 $a_s$ 的耦合系数( $s^{-1}$ )
$A_{lon}$	从 $\delta_{lon}$ 到 $\theta_{cyc, a_s}$ 的连杆增益(rad)
$a_s$	主旋翼桨叶一阶纵向挥舞角(rad)
$B_{a_s}$	从 $a_s$ 到 $b_s$ 的耦合系数( $s^{-1}$ )
$B_{lat}$	从 $\delta_{lat}$ 到 $\theta_{cyc, b_s}$ 的连杆增益(rad)
$b_{mr}$	主旋翼桨叶数目
$b_s$	主旋翼桨叶一阶横向挥舞角(rad)
$b_{tr}$	尾桨桨叶数目
$C_{D0}$	主旋翼桨叶阻力系数
$C_{lon}$	从 $\delta_{lon}$ 到稳定杆纵向桨距角的连杆增益(rad)
$C_{la, hf}$	水平鳍尾的升力曲线斜率( $rad^{-1}$ )
$C_{la, mr}$	主旋翼桨叶的升力曲线斜率( $rad^{-1}$ )
$C_{la, sb}$	稳定杆桨片的升力曲线斜率( $rad^{-1}$ )
$C_{la, tr}$	尾桨桨叶的升力曲线斜率( $rad^{-1}$ )
$C_{la, vf}$	垂直鳍尾的升力曲线斜率( $rad^{-1}$ )
$c_{mr}$	主旋翼桨叶弦长(m)
$c_s$	稳定杆一阶纵向挥舞角(rad)
$c_{sb}$	稳定杆桨片弦长(m)
$c_{tr}$	尾桨桨叶弦长(m)
$D_{hf}$	水平鳍尾在重心后方的位置(m)
$D_{lat}$	从 $\delta_{lat}$ 到稳定杆横向桨距角的连杆增益(rad)
$D_{tr}$	尾桨桨毂在重心后方的位置(m)
$D_{vf}$	垂直鳍尾在重心后方的位置(m)
$d_s$	稳定杆一阶横向挥舞角(rad)
$e_{mr}$	主旋翼桨叶铰链有效偏置(m)
$F_b$	机体轴系描述的气动力合力矢量(N)
$F_{b, g}$	机体轴系描述的重力矢量(N)
$H_{mr}$	主旋翼桨毂在重心上方的位置(m)

$H_{tr}$	尾桨桨毂在重心上方的位置(m)
$H_{vf}$	垂直鳍尾在重心上方的位置(m)
$g$	本地重力加速度( $m/s^2$ )
$J$	机体转动惯量矩阵, 对角阵, 主对角线元素 $J_{xx}, J_{yy}, J_{zz}$ ( $kg \cdot m^2$ )
$K_I$	偏航角速率反馈控制器的积分增益
$K_P$	偏航角速率反馈控制器的比例增益
$K_a$	偏航角速率反馈控制器的前向增益
$K_{col}$	从总距舵机偏转角到主旋翼桨叶总距角的增益
$K_{ped}$	从尾桨舵机偏转角到尾桨桨叶总距角的增益
$K_{sb}$	从稳定杆挥舞角到主旋翼桨叶周期变距角的增益
$K_\beta$	主旋翼挥舞运动弹簧常数( $N \cdot m$ )
$L_{mr}, M_{mr}, N_{mr}$	主旋翼产生的气动力矩在机体轴系 $X, Y, Z$ 轴上的分量( $N \cdot m$ )
$L_{vf}, N_{vf}$	垂直鳍尾产生的气动力矩在机体轴系 $X, Z$ 轴上的分量( $N \cdot m$ )
$L_{tr}, N_{tr}$	尾桨产生的气动力矩在机体轴系 $X, Z$ 轴上的分量( $N \cdot m$ )
$M_b$	机体轴系描述的气动力矩合力矩矢量( $N \cdot m$ )
$M_{hf}$	水平鳍尾产生的气动力矩在机体轴系 $Y$ 轴上的分量( $N \cdot m$ )
$m$	无人飞行器总质量(kg)
$n_{tr}$	尾桨对主旋翼的变速比
$p, q, r$	机体轴系描述的角速率(rad/s)
$P_c$	主旋翼爬升功率(W)
$P_i$	主旋翼诱导功率(W)
$P_n$	本地 NED 轴系描述的位置矢量, 组成元素 $x_n, y_n, z_n$ (m)
$P_{pa}$	主旋翼寄生功率(W)
$P_{pr}$	主旋翼型阻功率(W)
$R_{n/b}$	从机体轴系到 NED 轴系的旋转矩阵
$R_e$	雷诺数
$R_{mr}$	主旋翼桨盘半径(m)
$R_{sb, in}$	稳定杆桨盘内径(m)
$R_{sb, out}$	稳定杆桨盘外径(m)
$R_{tr}$	尾桨桨盘半径(m)
$S$	从欧拉角导数到机体轴角速率的变换矩阵
$S_{fx}$	机身纵向有效阻力面积( $m^2$ )
$S_{fy}$	机身横向有效阻力面积( $m^2$ )
$S_{fz}$	机身垂向有效阻力面积( $m^2$ )
$S_{hf}$	水平鳍尾有效面积( $m^2$ )
$S_{vf}$	垂直鳍尾有效面积( $m^2$ )
$T_{mr}$	主旋翼拉力(N)
$T_{tr}$	尾桨拉力(N)
$V_a$	机体轴系描述的空速矢量, 各分量为 $u_a, v_a, w_a$ (m/s)

$V_b$	机体轴系描述的地速矢量,各分量为 $u, v, w$ (m/s)
$V_n$	NED 轴系描述的地速矢量,各分量为 $u_n, v_n, w_n$ (m/s)
$V_{wind}$	机体轴系描述的风速矢量,各分量为 $u_{wind}, v_{wind}, w_{wind}$ (m/s)
$v_{i, mr}$	主旋翼诱导速度 (m/s)
$v_{i, tr}$	尾桨诱导速度 (m/s)
$v_{vf}$	垂直鳍尾的本地横向空速 (m/s)
$\hat{v}_{mr}^2$	主旋翼拉力计算的中间变量
$\hat{v}_{tr}^2$	尾桨拉力计算的中间变量
$\omega_{hf}$	水平鳍尾的本地垂向空速 (m/s)
$x, y, z$	本地 NED 轴系位置坐标 (m)
$x_n, y_n, z_n$	本地 NED 轴系位置坐标 (m)
$X_{mr}, Y_{mr}, Z_{mr}$	主旋翼产生的气动力在机体轴系 $X, Y, Z$ 轴上的分量 (N)
$X_{fus}, Y_{fus}, Z_{fus}$	机身产生的气动力在机体轴系 $X, Y, Z$ 轴上的分量 (N)
$Y_{tr}$	尾桨产生的气动力在机体轴系 $Y$ 轴上的分量 (N)
$Y_{vf}$	垂直鳍尾产生的气动力在机体轴系 $Y$ 轴上的分量 (N)
$Z_{hf}$	水平鳍尾产生的气动力在机体轴系 $Z$ 轴上的分量 (N)
$\alpha_{st}$	失速临界攻角 (rad)
$\gamma_{mr}$	主旋翼洛克数
$\gamma_{sb}$	稳定杆洛克数
$\delta_{col}$	标准化总距舵机输入 $[-1, 1]$
$\delta_{lat}$	标准化横滚舵机输入 $[-1, 1]$
$\delta_{lon}$	标准化俯仰舵机输入 $[-1, 1]$
$\delta_{ped}$	标准化偏航角速率反馈控制器输入 $[-1, 1]$
$\delta_{ped, int}$	偏航角速率反馈控制器的内部状态变量
$\bar{\delta}_{ped}$	尾桨舵机输入 (rad)
$\theta_{col}$	主旋翼总距角 (rad)
$\theta_{cyc, a_s}$	主旋翼纵向桨距角 (rad)
$\theta_{cyc, b_s}$	主旋翼横向桨距角 (rad)
$\theta_{ped}$	尾桨总距角 (rad)
$\lambda_{vf}$	垂直鳍尾处于尾桨尾迹流标志
$\rho$	空气密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\tau_{mr}$	主旋翼裸桨时间常数 (s)
$\tau_{sb}$	稳定杆时间常数 (s)
$\phi, \theta, \psi$	欧拉角 (rad)
$\Omega_{mr}$	主旋翼转速 (rad/s)
$\Omega_{tr}$	尾桨转速 (rad/s)
$\omega_{b/n}^b$	机体轴系描述的角速度矢量,各分量为 $p, q, r$ (rad/s)



# 目 录

## CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 小型旋翼飞行器简史	3
1.3 基本组成	5
1.3.1 无线电操控旋翼飞行器	5
1.3.2 航空电子系统	7
1.3.3 手动操作备份	8
1.3.4 地面控制站	8
1.4 软件系统设计与集成	9
1.4.1 实时机载软件系统	9
1.4.2 地面站软件系统	10
1.5 飞行动力学建模	10
1.5.1 基理建模方法	11
1.5.2 系统与参数辨识	11
1.6 飞行控制系统	12
1.7 应用举例	12
1.8 各章总览	14
第 2 章 坐标系统与变换	16
2.1 引言	16
2.2 坐标系统	16
2.2.1 大地坐标系统	16
2.2.2 地心固定坐标系统	18
2.2.3 本地 NED 坐标系统	18
2.2.4 机载 NED 坐标系统	19
2.2.5 机体轴坐标系统	19
2.3 坐标转换	20
2.3.1 基本知识	20
2.3.2 坐标变换	22

<b>第 3 章 平台设计与构建</b> .....	25
3.1 引言 .....	25
3.2 虚拟设计环境的选择 .....	25
3.3 部件的选择 .....	26
3.3.1 无线电操控直升机 .....	27
3.3.2 飞行控制计算机 .....	28
3.3.3 导航传感器 .....	29
3.3.4 外围传感器 .....	30
3.3.5 失效保护舵机控制器 .....	31
3.3.6 无线调制解调器 .....	31
3.3.7 电池 .....	32
3.3.8 视觉信息处理计算机 .....	32
3.3.9 视觉传感器 .....	33
3.3.10 图像采集卡 .....	33
3.3.11 云台伺服机构 .....	33
3.3.12 视频发射与接收 .....	34
3.3.13 手动控制 .....	34
3.3.14 地面控制站 .....	34
3.4 航电系统设计与集成 .....	35
3.4.1 布局设计 .....	35
3.4.2 减振设计 .....	36
3.4.3 供电设计 .....	38
3.4.4 屏蔽设计 .....	38
3.5 性能评估 .....	39
<b>第 4 章 软件系统设计与集成</b> .....	43
4.1 引言 .....	43
4.2 机载软件系统 .....	44
4.2.1 结构设计 .....	44
4.2.2 任务管理 .....	45
4.2.3 自动控制实现 .....	48
4.2.4 应急处理 .....	51
4.2.5 视觉处理软件 .....	51
4.3 地面站软件系统 .....	53
4.3.1 地面站软件层次结构 .....	53
4.3.2 三维视图开发 .....	55
4.4 软件系统评估 .....	58

第 5 章 测量信号增强 .....	60
5.1 引言 .....	60
5.2 扩展卡尔曼滤波器 .....	61
5.3 GPS 辅助 INS 动态模型 .....	62
5.3.1 航姿参考系统动态模型 .....	62
5.3.2 INS(或惯导系统动态模型) .....	64
5.4 扩展卡尔曼滤波器设计 .....	65
5.4.1 基于加速度计的航姿参考系统扩展卡尔曼滤波器 .....	65
5.4.2 基于磁力计的航姿参考系统扩展卡尔曼滤波器 .....	66
5.4.3 GPS/INS 导航系统的扩展卡尔曼滤波器 .....	67
5.5 性能评估 .....	67
第 6 章 飞行动力学建模 .....	70
6.1 引言 .....	70
6.2 模型结构 .....	71
6.2.1 机体运动学特性 .....	72
6.2.2 机体动力学特性 .....	72
6.2.3 主旋翼挥舞动力学特性 .....	77
6.2.4 偏航角速率反馈控制器 .....	79
6.3 参数确定 .....	80
6.3.1 直接测量 .....	80
6.3.2 地面实验 .....	81
6.3.3 基于风洞数据估计参数 .....	86
6.3.4 飞行实验 .....	87
6.3.5 精细调整 .....	93
6.4 模型验证 .....	94
6.5 飞行包线确认 .....	100
第 7 章 内环飞行控制 .....	102
7.1 引言 .....	102
7.2 $H_\infty$ 控制技术 .....	103
7.3 内环控制系统设计 .....	107
7.3.1 模型线性化 .....	107
7.3.2 问题的描述 .....	108
7.3.3 设计指标的选择 .....	109
7.3.4 $H_\infty$ 控制律 .....	110
7.4 性能评估 .....	111

<b>第 8 章 外环飞行控制</b> .....	119
8.1 引言 .....	119
8.2 鲁棒与完全跟踪控制 .....	119
8.3 外环控制系统设计 .....	123
8.4 性能评估 .....	128
<b>第 9 章 飞行仿真与实验</b> .....	135
9.1 引言 .....	135
9.2 飞行规划 .....	135
9.2.1 前飞起/停 .....	136
9.2.2 悬停 .....	136
9.2.3 后飞起/停 .....	137
9.2.4 悬停旋转 .....	137
9.2.5 垂向机动 .....	138
9.2.6 侧向重定位 .....	138
9.2.7 旋转定标 .....	139
9.2.8 滑雪 .....	139
9.2.9 向心回转 .....	140
9.2.10 任务基元的衔接 .....	140
9.3 硬件在回路仿真设置 .....	141
9.4 仿真与飞行实验结果 .....	142
<b>第 10 章 多无人机编队飞行</b> .....	155
10.1 引言 .....	155
10.2 长机-僚机编队 .....	156
10.2.1 编队飞行坐标系 .....	156
10.2.2 运动学模型 .....	157
10.3 碰撞回避 .....	159
10.4 飞行实验结果 .....	161
<b>第 11 章 基于视觉的目标跟踪</b> .....	169
11.1 引言 .....	169
11.2 视觉跟踪中的坐标系 .....	169
11.3 摄像机标定 .....	171
11.3.1 摄像机模型 .....	171
11.3.2 内参数估计 .....	172
11.3.3 畸变补偿 .....	174
11.3.4 简化的摄像机模型 .....	174

---

11.4	基于视觉的地面目标跟踪 .....	175
11.4.1	目标检测 .....	175
11.4.2	图像跟踪 .....	179
11.4.3	目标跟踪控制 .....	186
11.5	实验结果 .....	191
<b>参考文献</b> .....		194



# 第 1 章



## 绪 论

### 1.1 引言

无人驾驶航空器(unmanned aerial vehicle,简称 UAV,也称无人飞行器或无人机)是一种装备了必要的数据处理单元、传感器、自动控制器以及通信系统的飞行器,能够在无人干预的情况下完成自主飞行任务。小型无人飞行器是指那些从翼展小于 15cm、到载荷重达几十千克的飞行器,由于具备一些独特之处,如低成本、小尺寸、高机动等,过去的二三十年中在世界范围内受到普遍重视,在军事与民用领域都获得了大量的应用。随着许多相关领域的飞速发展,如传感技术、制造技术、通信技术等,小型无人飞行器正变得比以往更加智能,并渐渐成为人类不可或缺的帮手。

基于不同的外形与几何结构,小型无人飞行器可以划分为 4 类:固定翼<sup>[3,200]</sup>、旋翼<sup>[55,91]</sup>、扑翼<sup>[41,218]</sup>以及其他非常规无人飞行器<sup>[97,134]</sup>。其中,前两类是目前执行实际任务与开展科学研究最流行的选择;而第三类在过去的十年中引起了学术圈的更多注意,尽管谈到实际应用还为时尚早,但其研究已经取得了初步进展;对于非常规无人飞行器,目前还停留在初始、甚至是概念开发阶段。

众所周知,小型无人飞行器的研究与开发工作丰富多彩、多种多样<sup>[19,189 及其参考文献]</sup>,本书将着重关注一类特殊的小型无人飞行器,即小型无人旋翼飞行器,也就是我们在新加坡国立大学的研究对象。通常,为了实现自动控制飞行,小型无人旋翼飞行器由无线电操控的航模直升机(hobby helicopter)加装合适的航空电子系统升级而成。除了前面提到的一般无人飞行器具有的特点以外,小型无人旋翼飞行器还具有独特的悬停能力,使其在狭小空间内的应用中成为最好的选择。图 1.1~图 1.4 展示了由我们新加坡国立大学(National University of Singapore,或 NUS)无人机研究团队所研制的几种无人旋翼飞行器系统,本书的目的旨在系统地记载我们在过去七年中的部分研究成果。