




装备科技译著出版基金

 Springer



Autonomous Flying Robots:  
Unmanned Aerial Vehicles and  
Micro Aerial Vehicles

# 自主飞行机器人

## —— 无人机和微型无人机

[日]K.Nonami [澳大利亚]F.Kendoul

[日]S.Suzuki [中国]W.Wang [日]D.Nakazawa 著

肖阳 张璇子 孟宪权 等译



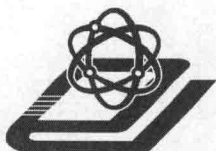
国防工业出版社

National Defense Industry Press

014059357

V279

24



装备科技译著出版基金

# 自主飞行机器人 ——无人机和微型无人机

## Autonomous Flying Robots: Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles

[日]K. Nonami [澳大利亚]F. Kendoul

[日]S. Suzuki [中国]W. Wang [日]D. Nakazawa 著

肖阳 张璇子 孟宪权 王立国 徐冠峰 赵友东 译



V279  
24

国防工业出版社



北航

C1745765

014020327

014020327

国防工业出版社

著作权合同登记 图字:军-2012-019号

图书在版编目(CIP)数据

自主飞行机器人:无人机和微型无人机/(日)宪三野波(Nonami,K.)  
等著;肖阳等译.—北京:国防工业出版社,2014.8  
书名原文:Autonomous flying robots:unmanned aerial vehicles and micro aerial vehicles  
ISBN 978-7-118-09477-0

I.①自... II.①宪...②肖... III.①无人驾驶飞机—研究 IV.①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第163518号

Translation from the English language edition:

*Autonomous Flying Robots* by Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki, Wei Wang and Daisuke Nakazawa

Copyright © 2010, Springer Japan

Springer Japan is a part of Springer Science + Business Media All Rights Reserved

本书简体中文版由Springer授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有,侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

\*

开本710×1000 1/16 印张17¼ 字数326千字

2014年8月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价68.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

## 译者序

随着数字技术、材料技术、动力系统技术、传感器技术,尤其是飞行控制技术在新世纪的长足发展,无人机总体技术水平得到大幅提升,当前在部分发达国家,无人机已经广泛投入民用。与之相比,我国在这方面的应用才刚刚起步,缺乏系统理论,国内市场上的无人机相关书籍多为科普性质,急需在市场中投入一批优秀的无人机中文资料和书籍,满足研究人员的需求。《自主飞行机器人》正是一部讲述微型无人机控制系统技术理论的著作。

本书从阐明无人机领域的技术边界、应用场景与发展现状开始,数理结合、循序渐进地介绍了当前微型无人机控制系统的原理、设计与建模。在全书的第一部分里,作者讨论了小型和微型旋翼 UAVs 和 MAVs 的建模和控制,展示了微型无人机的数学模型和设计方法,引导读者逐步进入该领域,掌握分析研究无人机的基本思路;第二部分进一步讨论了旋翼 UAVs 和 MAVs 先进的飞行控制系统,与第一部分相比,作者介绍了涉及多个无人机型号以及不同运动方式(自转下降、特技飞行、垂直起降、编队飞行、室内飞行)的先进建模和控制方法;在最后的第三部分里,作者结合千叶大学机器人技术实验室研制的微型无人机,讨论了短程 UAVs 和 MAVs 的制导和导航,以及低成本姿态传感器的发展和基于视觉的 UAVs 和 MAVs 的飞行控制。纵观全书,作者并不拘泥于复杂、晦涩的理论分析,而是通过与读者分享自身设计与研发经验,帮助读者理解复杂的技术理论。本书理论与实践相结合,具有较强的指导性,可作为无人机相关专业人员的参考用书。

本书由总参陆航研究所组织翻译和审校。译者在不偏离原著题意内容的原则下,尽可能运用通顺、流畅的文句和业界普遍认可的专业词汇进行翻译,优化读者的阅读体验。

国防工业出版社的肖志力老师作为本书的责任编辑,为本书的出版付出了辛勤的劳动,国防工业出版社对本书的出版给予了大力支持,在此一并表示感谢。

由于无人机技术还在不断地完善和深化发展之中,新的标准和应用不断涌现,加之译者水平有限,翻译时间仓促,因而本书翻译中的错漏之处在所难免,恳请各位专家和读者不吝指出。

译者

2014年5月于北京

## 前 言

机器人技术的发展加快了无人驾驶交通工具在单调及危险任务中的应用,并可在一定程度上取代人类,具有更为客观的经济价值。基于它们的工作环境,无人驾驶交通工具可以分为无人机(UAV)、无人地面车辆(UGV)、自主水下航行器(AUV)、自主水面航行器(ASV),如今,它们统称为UV(无人机)。最近10年,无人自主飞行器的发展已经吸引了人们极大的兴趣,并且在全球范围内,学者们已经开始着手研究和发展不同种类的自主飞行器。尤其是,无人机在处理紧急情况方面有很多的应用:人们往往不能靠近的危险和自然灾害,比如地震、洪水、火山或核污染。第一架无人机自研发以来,其研究成果主要运用于军事。然而,最近人们对无人机的需求已经逐渐上升,比如在紧急情况和工业应用中所需的飞行机器人。在各式各样已研发的无人机中,小型HUAUV(基于直升机的无人机)具有垂直起降和巡航飞行的能力,但其最重要的能力还是悬停。悬停在一个点可以确保更有效地观察目标。此外,小型HUAUV成本低且操作容易。

日本千叶大学无人机团队从1998年开始研究自主控制,并于2001年与Hirobo公司合作,建立了一个适用于小型航模直升机的自主控制系统。例如一架用于电线监测的无人机,被称为SKY SURVEYOR(空中测量员)。一旦它捕捉到输电线路,即使存在直升机摇摆的情况,也可在总负载48kg的情况下通过机载摄像头巡航1h。此外,它拥有20kg的有效载荷。尽管几架小型无人机均是直升机——如Sky Focus - SF40(18kg)、SST - EAGLE - EX2(7kg)、Shuttle - SCE-ADU - Evolution(5kg),以及专门为爱好者们设计的全电控的Lepton(2kg),总负载2~18kg——实现这些飞行器的全自主飞行控制是可行的。巡航时间,取决于直升机的分类,在有效载荷800g~7kg的情况下约为10~20min。为直升机爱好者们设计的用于商业的无线电遥控直升机,因为它们可以由单人控制自主飞行,并且价格便宜,设计简单,所以可以在果园、农场以及小型花圃中充当化学喷雾器的角色。在将来,它们同样可以应用到航拍,以及各种各样的监控和灾难救援中。

GH Craft 和千叶大学正着手研究和发展四旋翼倾转机翼飞行器的自主控制

技术。此四倾斜翼无人机(QTW-UAV)总负载约为30kg;在直升机模式下垂直起降;在固定翼模式下高速巡航。美国的贝尔实验室已经研制出四倾转旋翼无人机(QTR-UAV),在2006年1月进行首飞;然而,迄今为止四倾斜翼无人机在全球还没有研制成功,尽管已经进行过设计和飞行试验。四倾转旋翼无人机目前已经可以进行完全的自主飞行。此外,日本精工株式会社的爱普生公司和千叶大学研发的自主控制微型无人机(MAV),其在全球是最小的,为12.3g,具有质量最小的优势,并且通过相机的图像处理已在室内成功实现了自主控制。Hirobo公司的XRB,比该微型无人机约重170g,已经在千叶大学实现了自主控制。在室内自主控制下自由飞行已经变为了可能。

我们通过积极研究微型四旋翼无人机(德国升序技术有限公司提供),也开发了自己先进的飞行控制算法。图1.29和图1.30为自主着陆和自主悬停的示例照片,选择该平台,是因为其良好的载荷性能。原来的X-3D-BL套件包括了坚实的机身、无刷电机和相关联的电动机驱动器,X基是一个对接收器输出进行解码,并将指令发送到电机的电子卡;X-3D电路板,包含了3个用于稳定的陀螺仪。初始平台的总负载约为400g,包括电池,其有效载荷约为200g。无负载的飞行时间约20min,载荷为200g的飞行时间约10min。X-3D-BL四旋翼直升机可以以近8m/s的速度飞行,这些良好的特性,归功于其强大的无刷电机,它可以以非常高的速度旋转。此外,螺旋桨直接安装于未使用机械变速器的电机上,从而减少了振动和噪声。同时,工业上应用的用于化学喷雾的六旋翼微型无人机已经相对成熟,已经成功实现了全自主飞行。

对于工业应用研究,我们采用了名为SKY SURVEYOR的电力线监控直升机,可以大致将其系统分为电力线监测直升机地面站和自主无人机。电力线监测及用于自主控制系统的其他装置包括传感器和计算机都安装在机体上。用于自主控制的传感器包括一个全球定位系统(GPS)接收器、一个姿态传感器和一个罗盘,这些组成了无人机基于模型的自主控制系统。全球定位系统/惯性导航系统(GPS/INS)复合惯导或基于三维立体视觉的方法在必要时同样可行。飞行程序通过地面站进行规划,或者,必要时也可通过嵌入式计算机系统直接设计监测轨道。姿态控制模式下,操作员仅可以对自控直升机进行坐标控制,这就是所谓的操作员辅助飞行。另外,电力线监测图像可由无人机上的摄像机利用自动捕捉模式记录,同时将画面实时传送到地面站,操作员也可在任意时间控制电力线监测摄像机的方向及焦距。

我们自1998年以来针对无人机和微型无人机进行了10年以上的研究,通

过对全自主飞行控制系统的试验和理论研究,积累了一些技术。F. Kendoul 博士在千叶大学机器人和控制系统研究实验室工作了两年,作为日本促进科学协会博士后研究员(JSPS 博士后),从 2007 年 10 月到 2009 年 10 月,他对微型无人机研究进展做出了很大的贡献。这些事实是本书的出版原因、动机和背景。同时,在过去的 10 年中,我的 7 个研究生在无人机和微型无人机领域完成了博士学位。他们是 Jinok Shin 博士、Daigo Fujiwara 博士、Kensaku Hazawa 博士、Zhenyo Yu 博士、S. Suzuki 博士、W. Wang 博士和 D. Nakazawa 博士。最后三个人——Suzuki 博士、Wang 博士和 Nakazawa 博士——同 Kendoul 博士都是本书的作者。

本书适用于研究方向为无人机和微型无人机领域的研究生,本书的主要目的是系统地、一步一步地介绍和描述当前微型无人机、主水平翼飞行器的研究和发展,并讨论千叶大学机器人和控制系统研究实验室(Nonami 实验室)的集成原型发展。特别地,本书为新读者提供了该领域的全面概述。本书分为三个部分,第一部分是小型和微型旋翼无人机的建模与控制;第二部分是旋翼无人机和微型无人机的先进飞行控制系统;第三部分是短程无人机的制导与导航。

千叶大学机器人和控制系统研究实验室  
K. Nonami 教授

## 致 谢

首先我想表达对本书一些章节编著者的感谢心情。Daisuke Iwakura 先生是微型无人机研究领域的一位优秀的硕士研究生,编著了第 13 章。同时,也感谢 Shyaril Azrad 先生和 Dwi Pebrianti 女士对于基于视觉飞行控制的贡献,他们是千叶大学机器人和控制系统研究实验室微型无人机研究领域的博士研究生。JinokShin 博士、Daigo Fujiwara 博士、Kensaku Hazawa 博士和 Zhenyo Yu 博士对本书中的无人机研究做出了巨大贡献。其次还想表达对 Shin 博士、Fujiwara 博士、Hazawa 博士,以及 Yu 博士过去 10 年贡献的感谢之情。我们在千叶大学与以下单位从事过联合研究,包括喜路宝公司的全自主飞行直升机、精工爱普生的微型自主飞行机器人和 GH Craft 的四倾斜翼无人机,感谢他们在本研究工作中的协作与支持。特别感谢喜路宝公司在过去 10 年中为千叶大学机器人和控制系统研究实验室提供的技术支持,感谢无人机团队的协作,我会永远记得我们的每一个场外试验以及每一位成员,感谢你们和你们的帮助。最后,我想感谢我的家人对我的支持与鼓励,尤其是我的妻子。



# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 什么是无人机和微型无人机? .....	2
1.2 无人机和微型无人机:定义、历史、分类和应用 .....	7
1.2.1 定义 .....	7
1.2.2 无人机历史发展概述 .....	7
1.2.3 无人机的分类 .....	10
1.2.4 应用 .....	13
1.3 近年来日本自主无人机在民用领域的研究和发展 .....	14
1.4 民用自主无人机控制与操作系统的主题和前景 .....	18
1.5 自主无人机与微型无人机的未来研究和发展 .....	21
参考文献 .....	23

## 第一部分 小型和微型旋翼无人机的建模与控制

第2章 小型和微型无人直升机的基础建模与控制 .....	25
2.1 引言 .....	25
2.2 小型和微型直升机的基本建模 .....	26
2.2.1 小型和微型无人直升机 .....	26
2.2.2 单旋翼直升机的建模 .....	28
2.2.3 共轴旋翼直升机的建模 .....	33
2.3 小型无人直升机的控制系统设计 .....	37
2.3.1 最优控制 .....	37
2.3.2 最优预先控制 .....	39
2.4 试验 .....	40
2.4.1 单旋翼直升机的试验装置 .....	40
2.4.2 共轴旋翼直升机的试验装置 .....	42

2.4.3	静态飞行控制	43
2.4.4	轨迹跟踪控制	44
2.5	小结	46
	参考文献	46
<b>第3章</b>	<b>使用 LQG 控制器的微型四旋翼无人机的自主控制</b>	<b>48</b>
3.1	引言	48
3.2	试验平台介绍	49
3.3	试验装置	51
3.3.1	嵌入式控制系统	51
3.3.2	地面控制站	53
3.4	建模和控制器的设计	54
3.4.1	建模	55
3.4.2	控制器的设计	56
3.5	试验及试验结果	58
3.6	小结	59
	参考文献	60
<b>第4章</b>	<b>自主四倾斜翼无人机的研发:设计、建模和控制</b>	<b>61</b>
4.1	引言	61
4.2	四倾斜翼无人机	62
4.3	四倾斜翼无人机的建模	63
4.3.1	坐标系	63
4.3.2	偏航模型	64
4.3.3	滚转和俯仰姿态模型	66
4.4	姿态控制系统设计	69
4.4.1	偏航动力学的控制系统设计	69
4.4.2	滚转和俯仰动力学控制系统设计	70
4.5	试验	71
4.5.1	航向控制试验	71
4.5.2	滚转和俯仰姿态控制试验	71
4.6	过渡状态下的控制性能验证	72
4.7	小结	73
	参考文献	73

第 5 章 用于递阶控制设计的直升机模型的线性化与辨识 .....	75
5.1 引言 .....	75
5.2 建模 .....	76
5.2.1 联动装置 .....	78
5.2.2 主旋翼和稳定杆的动力学 .....	80
5.2.3 机身运动的动力学 .....	89
5.2.4 小型直升机建模 .....	90
5.2.5 参数辨识与验证 .....	91
5.3 控制器设计 .....	95
5.3.1 控制系统的结构 .....	95
5.3.2 姿态控制器设计 .....	95
5.3.3 平飞运动控制系统 .....	96
5.4 试验 .....	97
5.4.1 航空电子设备结构 .....	97
5.4.2 姿态控制 .....	99
5.4.3 悬停和平飞控制 .....	100
5.5 小结 .....	102
参考文献 .....	103

## 第二部分 旋翼无人机和微型无人机的先进飞行控制系统

第 6 章 小型直升机自转机动飞行分析及其在紧急迫降中的应用 .....	105
6.1 引言 .....	106
6.2 自转 .....	106
6.2.1 桨叶微元上的气动力 .....	106
6.2.2 自转时的空气动力学 .....	106
6.3 基于叶素理论的非线性自转模型 .....	107
6.3.1 拉力 .....	108
6.3.2 扭矩 .....	108
6.3.3 诱导速度 .....	109
6.4 自转模型的校验 .....	110
6.4.1 试验数据 .....	110
6.4.2 自转模型的验证 .....	111

6.4.3	诱导速度估算方法的改进 .....	112
6.4.4	诱导速度估算方法的有效性 .....	113
6.4.5	仿真 .....	114
6.5	试验 .....	115
6.5.1	自转着陆控制 .....	115
6.5.2	垂直速度控制 .....	116
6.6	线性化 .....	116
6.6.1	离散状态空间模型 .....	116
6.6.2	基于神经网络的参数确定 .....	117
6.6.3	仿真 .....	118
6.7	总结 .....	118
	参考文献 .....	119
<b>第7章</b>	<b>基于前馈序列控制的小型无人直升机自主特技飞行 .....</b>	<b>120</b>
7.1	引言 .....	120
7.2	硬件设置 .....	121
7.3	手动飞行辨识 .....	121
7.4	轨迹设置及仿真 .....	123
7.5	执行原理和试验 .....	124
7.6	飞行高度与速度 .....	125
7.7	小结 .....	127
	参考文献 .....	127
<b>第8章</b>	<b>垂直起降无人机的数学建模和非线性控制 .....</b>	<b>128</b>
8.1	引言 .....	128
8.2	小型及微型垂直起降无人机的动力学模型 .....	130
8.2.1	刚体动力学 .....	130
8.2.2	气动力和扭矩 .....	132
8.3	非线性多级飞行控制器:设计和稳定 .....	134
8.3.1	飞行控制器设计 .....	134
8.3.2	全闭环系统的稳定性分析 .....	137
8.4	无人机系统集成:航空电子设备及实时软件 .....	139
8.4.1	航空器描述 .....	140
8.4.2	导航传感器及实时架构 .....	140

8.4.3	制导、导航和控制系统及其实时实现 .....	142
8.5	飞行测试和试验结果 .....	144
8.5.1	姿态轨迹跟踪 .....	144
8.5.2	自动起飞、悬停和降落 .....	145
8.5.3	长距离飞行 .....	146
8.5.4	全自主航点导航 .....	147
8.5.5	任意路径跟踪 .....	149
8.6	小结 .....	151
	附录 .....	152
	参考文献 .....	154
<b>第9章</b>	<b>应用预测控制的多架小型自主直升机的编队飞行控制 .....</b>	<b>156</b>
9.1	引言 .....	156
9.2	控制系统配置 .....	157
9.3	长机—僚机路径规划器设计 .....	157
9.4	基于模型预测控制的制导控制器设计 .....	158
9.4.1	速度控制系统 .....	158
9.4.2	坐标模型 .....	160
9.4.3	模型预测控制器设计 .....	161
9.4.4	观测器设计 .....	164
9.5	仿真和试验 .....	165
9.5.1	仿真 .....	166
9.5.2	试验 .....	166
9.5.3	约束和防止空中相撞 .....	169
9.5.4	抗干扰的鲁棒性 .....	171
9.6	小结 .....	171
	参考文献 .....	171

### 第三部分 短程无人机的制导与导航

<b>第10章</b>	<b>小型飞行器的制导与导航系统 .....</b>	<b>173</b>
10.1	引言 .....	173
10.2	微型旋翼无人机的嵌入式制导系统 .....	175
10.2.1	任务定义和路径规划 .....	176

10.2.2	飞行模式管理 .....	176
10.2.3	安全程序和飞行终止系统 .....	177
10.2.4	参考轨迹的实时生成 .....	178
10.3	航空飞行器的传统导航系统 .....	179
10.3.1	姿态和航向参考系统 .....	179
10.3.2	坐标和速度估算 .....	180
10.3.3	运用压力传感器和惯性导航系统的高度估算 .....	181
10.4	GPS 失效情况下的视觉导航系统 .....	181
10.4.1	视觉流飞行控制 .....	182
10.4.2	特征跟踪的视觉驱动里程仪 .....	187
10.4.3	目标跟踪的色觉系统 .....	188
10.4.4	用于微型无人机精确定位和着陆的基于立体视觉的系统 .....	193
10.5	小结 .....	198
	参考文献 .....	198
<b>第 11 章</b>	<b>低成本姿态四元传感器的设计与应用 .....</b>	<b>200</b>
11.1	引言 .....	200
11.2	坐标系和四元数 .....	201
11.2.1	坐标系定义 .....	201
11.2.2	四元数 .....	201
11.3	姿态和航向估算算法 .....	204
11.3.1	过程模型构造 .....	204
11.3.2	扩展卡尔曼滤波算法 .....	206
11.3.3	实际应用 .....	207
11.4	应用与评价 .....	208
11.5	小结 .....	211
	参考文献 .....	211
<b>第 12 章</b>	<b>微型无人机基于视觉的导航和视觉伺服系统 .....</b>	<b>213</b>
12.1	引言 .....	214
12.1.1	空中视觉导航的相关工作 .....	214
12.1.2	基于视觉的自动驾驶仪的介绍 .....	216
12.2	用于飞行路径积分的空中视觉里程仪 .....	217

12.2.1	特征选择和跟踪 .....	217
12.2.2	图像坐标系中飞行器伪运动的估算 .....	218
12.2.3	旋转效应补偿 .....	220
12.3	用于距离判定和无人机运动复原的自适应观测器 .....	220
12.3.1	自适应视觉观测器的数学公式 .....	221
12.3.2	递归最小二乘法通则 .....	222
12.3.3	RLS 算法在范围(高度)估算中的应用 .....	222
12.3.4	视觉估值、惯性和压力传感器数据的融合 .....	224
12.4	非线性 3D 飞行控制器:设计和稳定性 .....	225
12.4.1	旋翼机动力学建模 .....	225
12.4.2	飞行控制器设计 .....	225
12.4.3	闭环系统的稳定性和鲁棒性 .....	227
12.5	无人机平台和软件实现 .....	230
12.5.1	无人机平台介绍 .....	230
12.5.2	实时软件的运行 .....	232
12.6	基于视觉飞行的试验结果 .....	234
12.6.1	旋转效应补偿和高度估算的静态测试 .....	235
12.6.2	自主起飞和着陆情况下的室外自主悬停 .....	235
12.6.3	任意目标下的自主起飞、精确悬停和精准自动降落 .....	237
12.6.4	自动起飞和着陆情况下的地面移动目标跟踪 .....	238
12.6.5	使用视觉的基于速度控制的轨迹跟踪 .....	241
12.6.6	采用视觉估算的基于坐标控制的轨迹跟踪 .....	243
12.6.7	基于 GPS 的航点导航和与视觉里程仪估算的比较 .....	243
12.6.8	讨论 .....	246
12.7	小结 .....	247
	参考文献 .....	247
<b>第 13 章</b>	<b>使用红外和超声波传感器的室内自主飞行与精准自主着陆 .....</b>	<b>250</b>
13.1	引言 .....	250
13.2	系统组成 .....	251
13.2.1	试验平台介绍 .....	251
13.2.2	移动式测距系统 .....	252
13.2.3	微型无人机操作系统 .....	253

13.3	坐标测量原理 .....	254
13.3.1	基本原理 .....	254
13.3.2	坐标系定义 .....	255
13.3.3	边缘检测 .....	255
13.3.4	坐标计算 .....	257
13.4	建模与控制器设计 .....	258
13.4.1	控制系统组成 .....	258
13.4.2	建模 .....	259
13.4.3	参数辨识 .....	260
13.4.4	控制器 .....	260
13.5	试验 .....	261
13.5.1	自主悬停试验 .....	262
13.5.2	自主着陆试验 .....	262
13.6	小结 .....	265
	参考文献 .....	266



# 第1章 绪 论

**摘要:**对无人机和微型无人机做了大体的、非技术性的介绍,主要是对无人机和微型无人机的基本定义做了说明,用于分类和讨论本书的内容。本章的目的是使读者对本书的内容和每章的内容有一定的了解。

视频链接:

自动起飞和降落

[http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/1. avi](http://mec2.tm.chiba-u.jp/monograph/Videos/Chapter1/1.avi)

无人机、微型无人机和无人地面车辆之间的相互协作

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/2. mpg>

两个 XRBs 列队飞行控制

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/3. mpg>

四倾斜翼无人机的全自主飞行控制

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/4. wmv>

基于视觉的微型飞行机器人全自主悬停

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/5. mpg>

全球定位系统/惯性导航系统联合飞行控制

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/6. avi>

操作员辅助飞行控制

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/7. avi>

无人机和惯性测量装置(IMU)传感器发展视频

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/8. avi>

SKY SURVEYOR 电力线检测

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/9. avi>

EAGLE 的旋转控制;机载摄像头及地面摄像头的不同视角

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/10. mpg>

以 SKY SURVEYOR 为例的无人机的应用

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/11. avi>

基于视觉的自主起飞、自主悬停和自主着陆

<http://mec2. tm. chiba - u. jp/monograph/Videos/Chapter1/12. avi>