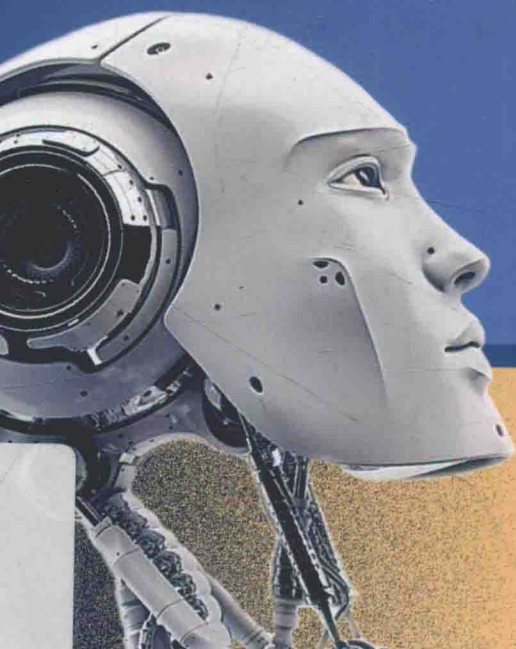


中国工程机器人大赛暨国际公开赛推荐用书

· 机器人工程与创新系列丛书 ·

# 中国工程机器人大赛 精选案例 1

中国工程机器人大赛暨国际公开赛技术委员会 编



科学出版社

机器人工程与创新系列丛书

# 中国工程机器人大赛 精选案例 1

中国工程机器人大赛暨国际公开赛技术委员会 编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

针对中国机器人竞赛的具体项目,本书是从中国工程机器人大赛暨国际公开赛获奖案例中精选出的28个技术案例。这些精选的案例都具有代表性,并获得广大学生和机器人爱好者的关注。每个案例都详细介绍设计创意的来源、整体思路、硬件设计、软件设计、系统开发调试和优化等内容。按照不同类型,这些精选技术案例分为7篇,分别为:工程创新创意设计篇,包括无人机、机器狗、壁面作业机器人、履带式遥控扫雷车和工业创新智能小车等;仿人竞速机器人篇,包括交叉足机器人和单电机交叉足机器人;旋翼飞行器篇,包括四旋翼和六旋翼飞行器;搬运机器人篇;竞技体操机器人篇;生物医学创新创意篇,包括基于动态光谱的血氧饱和度测量系统、基于脸部动作编码的机器人视觉人机接口,以及低功耗穿戴式血氧饱和度测量仪等;其他机器人篇,包括智能快递分拣机器人、工程越野机器人、越障机器人、仿生爬坡机器人等。此外,本书还提供了多个精选案例的相关程序代码的下载(<http://robotmatch.cn/Contents/TechnicalReport/Programe.htm>)。

本书既可作为高等学校电气工程、自动化、计算机等专业本科生的教材,也可作为机器人爱好者的学习资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国工程机器人大赛精选案例. 1/中国工程机器人大赛暨国际公开赛技术委员会编. —北京:科学出版社,2017

(机器人工程与创新系列丛书)

ISBN 978-7-03-053050-9

I. ①中… II. ①中… III. ①机器人-运动竞赛-案例-中国 IV. ①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第101718号

责任编辑:惠雪 沈旭/责任校对:李影

责任印制:张倩/封面设计:许瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2017年5月第一次印刷 印张:27 1/4

字数:550 000

定价:69.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 机器人工程与创新系列丛书编委会

### 名誉主任:

吴宏鑫 (中国科学院院士, 北京控制工程研究所)

孙增圻 (清华大学)

### 主任:

朱纪洪 (清华大学)

冯林 (大连理工大学)

孙富春 (清华大学)

王军 (中国矿业大学)

### 委员: (按姓氏笔画排序)

王琪 (江苏科技大学)

王程氏 (淮安信息职业技术学院)

孙方红 (辽宁工程技术大学)

张力 (三峡大学)

李汉军 (空军勤务学院)

杨数强 (洛阳师范学院)

赵永瑞 (中国石油大学)

谢旭红 (江西理工大学)

裴东 (西北师范大学)

王思明 (兰州交通大学)

卢涌 (解放军理工大学)

朱海荣 (南通大学)

李刚 (天津大学)

杨文飞 (军械工程学院)

陈言俊 (山东大学)

郭健 (南京理工大学)

廖巨华 (中国科学院物联网研究  
发展中心)

薛阳 (上海电力学院)

# 前 言

人工智能和机器人，已成为时下最热门的话题之一。

经过短短几十年的发展，机器人已经广泛应用于各个领域。随着“工业 4.0”的提出，机器人获得高度关注。2016 年达沃斯世界经济论坛主题就是“第四次工业革命”，在这次汹涌澎湃的创新浪潮中，智能机器人必将占据重要位置。《中国制造 2025》提出，机器人列为政府需要大力推动实现突破发展的十大重点领域之一，《机器人产业“十三五”发展规划》也已正式发布。

国际机器人联合会表明，中国自 2013 年起连续三年成为全球最大的工业机器人消费市场，这一趋势在未来几年还会得到延续。未来，机器人的发展方向将是人工智能，为推进机器人功能更加专业化、精细化，更加满足人们生活和工作的需要，推动产品的技术创新，院校联盟也是不可或缺的资源。

为加速机器人教育普及，推进机器人竞赛活动，引领机器人科技创新，促进机器人产业发展，由中国人发起创立的国际性机器人赛事——中国工程机器人大赛暨国际公开赛，得到广大大、中、小学生和社会机器人爱好者的高度热情地参与。为满足初学者们学习机器人技术的愿望，增进互相交流与学习。中国工程机器人大赛暨国际公开赛技术委员会从获奖的案例中精选出 28 个案例，并将这些技术案例分为 7 篇，具体如下：

第一篇，工程创新创意设计，包括无人机、机器狗、壁面作业机器人、履带式遥控扫雷车和工业创新智能小车等。

第二篇，仿人竞速机器人，包括交叉足机器人和单电机交叉足机器人。

第三篇，旋翼飞行器，包括四旋翼和六旋翼飞行器。

第四篇，搬运机器人。

第五篇，竞技体操机器人。

第六篇，生物医学创新创意，包括基于动态光谱的血氧饱和度测量系统、基于脸部动作编码的机器人视觉人机接口，以及低功耗穿戴式血氧饱和度测量仪等。

第七篇：其他机器人，包括智能快递分拣机器人、工程越野机器人、越障机器人、仿生爬坡机器人等。

每个案例中都详细介绍设计创意来源、整体思路、硬件设计、软件设计、系统开发调试和优化，非常适合广大机器人爱好者寻找灵感，确定方向和启发借鉴。由

于编著者水平有限，时间仓促，书中欠妥错误之处在所难免，真诚希望广大读者朋友和各位同仁能够及时指出书中任何需要修改的地方，共同促进本书质量的提高。在此，与大家共勉。

中国工程机器人大赛暨国际公开赛  
技术委员会  
2017年4月

# 目 录

## 第一篇 工程创新创意设计

第 1 章 筋斗云无人机	3
1.1 尾坐式飞行器系统整体设计	3
1.2 尾坐式飞行器硬件设计	9
1.3 尾坐式飞行器软件设计	10
1.4 系统开发与调试	19
1.5 结论	23
参考文献	23
第 2 章 机器狗	24
2.1 设计简介	24
2.2 运动学分析	25
2.3 动力学分析	36
2.4 优化设计	37
2.5 控制系统设计	43
2.6 总结和展望	47
参考文献	48
第 3 章 壁面作业机器人	50
3.1 壁面作业机器人简介	50
3.2 壁面作业机器人总体设计方案	55
3.3 壁面作业机器人性能测试	66
3.4 总结	68
参考文献	69
第 4 章 履带式遥控扫雷车	71
4.1 项目研制背景与意义	72
4.2 系统设计	74
4.3 结论与展望	84
参考文献	85

第 5 章 工程创新智能小车	87
5.1 系统整体设计	87
5.2 系统设计	95
5.3 系统调试	108
参考文献	113

## 第二篇 仿人竞速机器人

第 6 章 双足机器人 I	117
6.1 双足机器人简介	117
6.2 技术方案设计	118
6.3 系统整体调试设计	125
参考文献	127
第 7 章 双足机器人 II	128
7.1 双足机器人概述	128
7.2 研究内容和实现情况	132
7.3 系统整体设计	133
7.4 硬件设计	135
7.5 软件设计	140
7.6 系统开发与调试	142
7.7 结论	143
参考文献	144
第 8 章 双足机器人 III	145
8.1 设计简介	145
8.2 机械设计	145
8.3 控制部分	150
8.4 动力部分	151
8.5 赛前调试	153
8.6 改进方案与展望	154
参考文献	154
第 9 章 双足机器人 IV	156
9.1 设计简介	156
9.2 机器人总体设计方案	160
9.3 交叉足机器人行走步态设计	162



9.4 舵机联动单周期指令算法研究	164
9.5 试验验证及结果分析	165
9.6 结论	167
参考文献	167
<b>第 10 章 双足机器人 V</b>	169
10.1 机器人发展史	169
10.2 系统整体设计	170
10.3 硬件设计	173
10.4 软件设计	181
10.5 系统开发与调试	182
10.6 结论	182
参考文献	183
<b>第 11 章 交叉足机器人 VI</b>	184
11.1 整体设计分析	184
11.2 理论基础	185
11.3 方案设计与实现	186
11.4 总结	190
参考文献	191

### 第三篇 旋翼飞行器

<b>第 12 章 四旋翼飞行器</b>	195
12.1 无人机概述	195
12.2 无人机发展历史	196
12.3 系统整体设计	197
12.4 系统硬件设计	199
12.5 系统软件设计	202
12.6 结论	204
参考文献	204
<b>第 13 章 六旋翼飞行器</b>	205
13.1 项目设计简介	205
13.2 系统设计方案	207
13.3 试验结果分析	212
13.4 结论	214

参考文献	216
------	-----

## 第四篇 搬运机器人

<b>第 14 章 摄像头搬运小车 I</b>	219
14.1 搬运机器人简介	219
14.2 整体设计简介	220
14.3 项目设计方案	220
参考文献	225
<b>第 15 章 摄像头搬运小车 II</b>	226
15.1 设计简介	226
15.2 系统总体设计	229
15.3 硬件系统设计	230
15.4 系统软件设计	235
15.5 系统开发与调试	241
参考文献	243
<b>第 16 章 摄像头搬运小车 III</b>	244
16.1 大赛简介及设计思路	244
16.2 摄像头搬运小车整体设计	245
16.3 摄像头搬运小车硬件设计	248
16.4 摄像头搬运小车软件设计	250
16.5 摄像头搬运小车调试过程	253
16.6 结论	255
参考文献	255

## 第五篇 竞技体操机器人

<b>第 17 章 竞技体操机器人 I</b>	259
17.1 设计简介	259
17.2 机械结构设计	260
17.3 电气控制	263
17.4 调试运行	270
17.5 总结与展望	273
参考文献	273
<b>第 18 章 竞技体操机器人 II</b>	274

18.1	设计内容和目标	274
18.2	国内外研究情况概述	275
18.3	研究技术方案	276
18.4	总结与展望	278
	参考文献	278
<b>第 19 章</b>	<b>竞技体操机器人 III</b>	<b>280</b>
19.1	设计简介	280
19.2	机械结构分析	282
19.3	竞技体操机器人控制系统硬件介绍	285
19.4	舞蹈机器人控制系统软件设计	287
	参考文献	292
<b>第 20 章</b>	<b>竞技体操机器人 IV</b>	<b>294</b>
20.1	研究背景	294
20.2	体操机器人的结构	295
20.3	体操机器人的建模与仿真	298
20.4	控制系统设计	302
20.5	体操机器人的调试	304
	参考文献	308
<b>第 21 章</b>	<b>竞技体操机器人 V</b>	<b>310</b>
21.1	设计简介	310
21.2	硬件设计	312
21.3	软件设计	316
21.4	连接调试	319
21.5	创新创意	321
21.6	结论	322
	参考文献	322

## 第六篇 生物医学创新创意

<b>第 22 章</b>	<b>基于动态光谱的血氧饱和度测量系统</b>	<b>325</b>
22.1	设计简介	325
22.2	血氧饱和度测量的理论基础	329
22.3	硬件设计	334
22.4	软件和算法	335

22.5	结果与分析	340
22.6	总结与展望	342
	参考文献	343
<b>第 23 章</b>	<b>基于脸部动作编码的机器人视觉人机接口</b>	345
23.1	研究设计简介	345
23.2	视觉信号的处理与分析	348
23.3	上位机与单片机的通信	350
23.4	智能模拟小车的设计	352
23.5	试验结果与分析	356
	参考文献	358
<b>第 24 章</b>	<b>低功耗穿戴式血氧饱和度测量仪</b>	359
24.1	研究设计介绍	359
24.2	动脉血氧饱和度检测方法及 DS 理论	360
24.3	数字化处理方法及绝对差值加和提取方法	363
24.4	基于 DS 的动脉血氧饱和度检测系统的具体实现	366
24.5	试验与系统评估	370
24.6	总结与展望	371
	参考文献	372
<b>第七篇 其他机器人</b>		
<b>第 25 章</b>	<b>智能快递分拣机器人</b>	377
25.1	研究设计简介	377
25.2	机械结构分析	378
25.3	机器人搬运工程控制系统介绍	381
25.4	总结与展望	384
	参考文献	384
<b>第 26 章</b>	<b>工程越野机器人</b>	386
26.1	设计解读	386
26.2	硬件设计	386
26.3	系统软件设计	392
26.4	成果展示	393
	参考文献	396
<b>第 27 章</b>	<b>越障机器人</b>	398
27.1	机器人概述	398

---

27.2	系统整体设计	399
27.3	硬件设计	400
27.4	软件设计	404
27.5	系统开发与调试	405
27.6	结论	406
	参考文献	406
<b>第 28 章</b>	<b>仿生爬坡机器人</b>	<b>407</b>
28.1	系统整体设计	407
28.2	硬件设计	408
28.3	软件设计	409
28.4	系统开发与调试	415
28.5	总结与展望	420
	参考文献	421

# 第一篇

## 工程创新创意设计



# 第1章 筋斗云无人机\*

尾坐式飞行器可以同时拥有固定翼飞机的高速性能和直升机的垂直起降性能,是近年来航空领域的研究热点。我们研发的尾坐式无人机创新性地采用了正反桨推力矢量装置,其反扭矩相互抵消,且可以在过失速情况下稳定地控制机体姿态。此外,该无人机采用新型的尾坐式起降方案:起飞时采用分离式起落架,使得机体无需安装大型起落架,减轻了机体重量;降落时采用可控前倾式降落方式,防止了降落时因侧风导致的机体翻倒。由于尾坐式飞机特殊的飞行方式,该无人机的控制方法较为复杂,因此,研发了配套的新型飞行控制方法:为解决欧拉角奇异的问题,提出了水平/垂直欧拉角综合姿态解算方法;为了在获得快速响应的同时防止超调,采用了线性/恒加速度逼近和角速率限幅积分逼近控制方法;此外,提出了一种特殊的数据融合算法,该算法通过迭代计算保证了高度数据的准确性;尾坐式起降时,机体姿态和高度具有强耦合关系,为此采用一种基于滤波前馈加速度算法的高度控制器。完整的尾坐式飞行试验结果验证了无人机总体设计、硬件系统以及飞行控制算法的有效性。

## 1.1 尾坐式飞行器系统整体设计

### 1.1.1 尾坐式飞行器概述

尾坐式飞行器在起飞时尾部着地、机体处于垂直状态,起飞时在动力系统作用下机体垂直上升。在飞行器到达一定高度后,进入飞行转换模式,此时机体逐渐减小自身攻角,直至完全改平后进入高速平飞模式。当飞行器需要降落时,机体再次进入飞行转换模式,逐渐增加自身攻角,直至机体完全垂直。之后机体垂直下降,直至接触地面完成降落流程。尾坐式飞行器的整个飞行流程如图 1-1 所示。

由于尾坐式飞行器可以同时拥有固定翼飞机的高速性能和直升机的垂直起降性能<sup>[1,2]</sup>,且不需要复杂的动力倾转机构,因此,早在 20 世纪 50 年代,美国就开始研制尾坐式飞行器 XF-Y1(图 1-2)。然而经过试验后,科研人员发现尾坐式飞行器的控制问题较为复杂,在当时的技术条件下难以解决。同时,在进行尾坐式起降时,飞行员的视野较差,存在很大的视觉死角,容易发生事故。因此,美国在当时暂时放弃了对尾坐式飞机的进一步探索。

\* 队伍名称:清华大学筋斗云无人机团队,参赛队员:匡敏驰、王吴凡、朱斌;带队教师:朱纪洪





图 1-1 尾坐式飞行器飞行流程

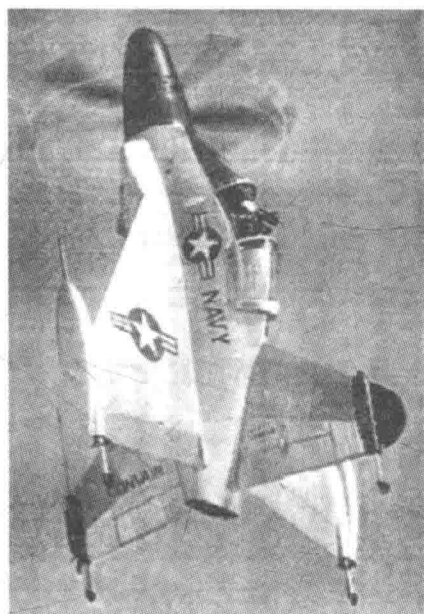


图 1-2 美国 XF-Y1 尾坐式飞行器

2000 年以后，随着电子技术的发展，主动控制技术和高性能无人机飞控系统逐渐成熟，以前无法解决的复杂控制问题，在采用主动控制技术后已经可以逐步解决。而高性能无人机飞控系统的出现，使得飞行器不需要搭载驾驶员，原先飞行员视野较差的问题也得到解决。因此，尾坐式飞行器又成为了各航空大国的研究热点，目前项目进展较好的有 Sky-Tote、Golden-Eye、V-Bat 以及 TERN 等尾坐式飞行器 (图 1-3)。