



国家级精品课程配套教材



Springer

# Embedded Robotics

Mobile Robot Design and  
Applications with  
Embedded Systems

Thomas Bräunl

# 嵌入式机器人学

基于嵌入式系统的移动机器人设计与应用

第3版 (Third Edition)

[德] 托马斯·布劳恩 著  
刘锦涛 辛巧 陈睿 译  
吴文海 李静 审校



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

**Embedded Robotics:**  
Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems  
(Third Edition)

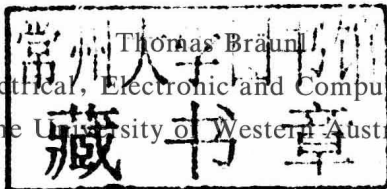
# 嵌入式机器人学

——基于嵌入式系统的移动机器人设计与应用

(第3版)

〔德〕 托马斯·布劳恩 著

Thomas Brauml  
School of Electrical, Electronic and Computer Engineering,  
the University of Western Australia



刘锦涛 辛巧 陈睿 译  
吴文海 李静 审校



**西安交通大学出版社**  
Xi'an Jiaotong University Press

Translation from the English language edition:

*Embedded Robotics. Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems* by Thomas Bräunl

Copyright © 2008, 2006, 2003 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书中文简体字翻译版由施普林格出版社·柏林-海德堡分公司授权西安交通大学出版社独家出版发行。  
未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

陕西省版权局著作权合同登记号 图字 25 - 2010 - 049 号

---

### 图书在版编目(CIP)数据

嵌入式机器人学——基于嵌入式系统的移动机器人设计与应用：  
第3版/(德)布劳恩(Bräunl, T.)著;刘锦涛,辛巧,陈睿译. —西安：  
西安交通大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5605 - 4202 - 7

I. ①嵌… II. ①布… ②刘… ③辛… ④陈… III. ①机器人学  
IV. ①TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 025521 号

---

书 名 嵌入式机器人学——基于嵌入式系统的移动机器人设计与应用(第3版)  
著 者 (德)托马斯·布劳恩  
译 者 刘锦涛 辛 巧 陈 睿  
审 校 者 吴文海 李 静  
出版发行 西安交通大学出版社  
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)  
网 址 <http://www.xjtupress.com>  
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)  
(029)82668315 82669096(总编办)  
传 真 (029)82669097  
印 刷 西安交通大学印刷厂

---

开 本 787 mm×1092 mm 1/16 印张 30 字数 719 千字  
版次印次 2012年7月第1版 2012年7月第1次印刷  
印 数 0001~3000 册  
书 号 ISBN 978 - 7 - 5605 - 4202 - 7/TP · 562  
定 价 75.00 元

---

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665397

读者信箱:banquan1809@126.com

---

版权所有 侵权必究

# *Preface for the Chinese Translation*

---

I am very happy to finally see the Chinese translation of my book on “Embedded Robotics” being published. It combines my two favorite subjects “Embedded Systems” and “Autonomous Robots”. Quite unlike many other books, this book has a large practical component and in fact most chapters have emerged from practical experiments and practical implementations of embedded controllers and autonomous robot applications. Some chapters have been co-authored with students and colleagues, while the link throughout the book is our EyeBot embedded controller with its RoBIOS robot operating system. We developed this controller when nothing comparable was available in the market and we wanted to have a more powerful controller that could do on-board image processing in such a small size. Over time, our mobile robot family has grown from the first driving SoccerBots over omni-directional robots, 6-legged and biped walking robots to autonomous underwater robots and unmanned aerial vehicles. In a similar way, the book itself has grown from its original 434 pages in the first edition, to now 541 pages in the third edition.

I would like to wish all Chinese readers lots of fun and inspiration when reading this book! May Robotics be the key for your research in intelligent systems or the motivation for learning about control and intelligence.

Enjoy!

Thomas Bräunl, Perth, April 2012

# 致中国读者

---

我非常高兴地看到《嵌入式机器人学》中文版即将付梓。本书讨论了两个我最喜欢的主题——“嵌入式系统”和“自主式机器人”。然而与其它书不同之处在于,该书还融合了大量的实践内容。事实上,大多数章节都来源于实践,以及对嵌入式控制器和自主机器人的实际应用。部分章节由我和我的学生、同事所共同执笔完成;贯穿于本书始终的是我们的 EyeBot 嵌入式控制器以及 RoBIOS 机器人操作系统。在同类产品问世之前,我们便开发了这套控制器,当时的初衷便是实现一个尺寸虽小但却可以完成板载图像处理的强大控制器。与时俱进,我们的移动机器人大家庭从最初的 SoccerBots 行驶机器人发展到全向机器人、六足和双足步行机器人,再到现在的自主水下机器人和无人飞行器。同样地,本书的英文版也已从第 1 版的 434 页成长为现在第 3 版的 541 页。

我衷心希望所有的中国读者在阅读此书时可以得到诸多的乐趣和启迪!希望《嵌入式机器人学》能够开启你智能系统的研究之路,激发你对控制和人工智能的学习兴趣!

祝阅读愉快!

托马斯·布劳恩

珀斯

2012 年 4 月

# 译者序

---

机器人学研究的是如何综合运用各类设备以实现人类某些方面的功能,是当今发展最迅速、应用最广泛、前景最激动人心的学科之一。然而,机器人学的成就与发展离不开机械、电子、传感器、计算机、自动控制、计算机视觉、人工智能等领域的丰硕成果。因此,决定了机器人学是一门综合性、实践性都非常强的学科。对于一名立志于学习研究机器人学的工科学生(包括工程技术人员),相关的知识背景与大量的实践训练都是必不可少的。面对这一无限广阔的领域,就知识背景而言,需要深厚的积累和宽广的视野,对此领域要有一个全景式的认识;就实践而言,则要找到一套现实可行、循序渐进的学习和研究方法。如何进入“机器人学”这一迷人的知识殿堂?根据我们的亲身体会以及西澳等多所国内外大学的教学经验证实:以嵌入式系统为基础进行机器人的学习、实践和研究是快捷而有效的!这也是我们决心向国内读者引进此书的主要动因。

本书是布劳恩教授在机器人学和机器人技术多年来的研究和教学工作的积累,其特点是在讲解机器人学理论的同时,提供了大量极具参考价值的应用实例,介绍了嵌入式系统的使用和移动机器人的设计与应用。特别是在此第3版中加入了最新的研究成果“步态进化”(第25章)和“汽车自动驾驶系统”(第26章),为学习者了解机器人的研究前沿打开了一扇窗口。

随着机器人及相关研究的开展,人类曾经的梦想正不知不觉变成现实。在工业领域,预计到2013年,全世界的工业机器人将达到120万台,平均每5000个人中就有1个机器人。在战场上,机器人越来越多地代替士兵被派遣到极度危险的作战任务中。在市区和高速公路上,具有自动驾驶功能的汽车已成功地进行了多次试车。在太空,机器人已经登上火星,并不断向更深的太空探索。在日常生活中,也有了各种各样的清洁和服务机器人。虽然,我们尚不能准确地预言梦想中的机器人时代何时到来,但我们将谨记 Alan Kay 的名言:“预测未来的最佳途径是创造未来(The best way to predict the future is to invent it!).”与其坐而猜想不如动手创造!

参与本书翻译和修订工作的其它译者有陈新中(中国电子科学院)、曲志刚(海军航空工程学院青岛分院)、陶峰、杨维保、关英勇。吴文海教授(海军航空工程学院青岛分院)和李静女士(鲁东大学)对全书进行了审校。李颖编辑大量而细致的工作充分保证了本书的质量,赵丽平编审也给予了大力支持。周思羽、张晓庆等提出了宝贵的修改意见。高莉、易德先、浦鹏、吴晓军、李笔锋、韩思淼参与了译稿的整理与校对工作。在此向他们表示衷心感谢!

本书适用于高年级本科生或者低年级研究生课程。可作为计算机科学与工程、信息技术、机电一体化等课程的教科书,也可作为机器人爱好者及工程研究人员的参考书。

限于译者的经验和水平,书中难免有诸多纰漏与不足,欢迎读者通过电子邮件提出您的宝贵意见!

刘锦涛

liu\_jintao@126.com

2012年春于莱阳

# 前 言

---

EyeBot 控制器及移动机器人的发展已逾十年之久,本书将采用 EyeBot 控制器(EyeCon)和 EyeBot 系列移动机器人作为应用实例,对嵌入式系统和自主移动机器人进行深入地介绍。

本书整合了一些教学和科研的材料,可用于嵌入式系统、机器人学和自动化的课程。我们发现实验是此领域教与学所必不可少的环节,因而鼓励大家能够重新编写和理解本书提供的程序和系统。

尽管在本书中一些地方,仿真了很多应用且对此研究得也比较深入,但我们仍认为学生无论是在嵌入式系统还是在机器人领域都应去接触实际的硬件。这将加深对问题的理解,当然也会充满乐趣,尤其是使用小型移动机器人做实验的时候。

EyeBot 项目最初的目标是将一个嵌入式系统接入数字摄像机(EyeCam),在本地实时地处理摄像机的图像以用于机器人导航,并在一个图像 LCD 上显示结果。所有的这些早在数字摄像机进入市场之前便开始了——事实上 EyeBot 控制器是最早的“嵌入式视觉系统”之一。

由于图像处理总是需要很大的处理量,仅仅是简单的 8 位微控制器将满足不了本项目的需求。最初的硬件设计采用了 32 位处理器,要求其性能能够跟上图像传感器传送的数据,并能在板载嵌入式系统上进行一些中等程度的图像处理工作。当前,我们的设计紧随技术发展,使用了高速嵌入式控制器与 FPGA 相结合的方案。FPGA 作为硬件加速器进行底层图像处理操作,在软件应用层(应用程序接口),则尽可能地兼容原始系统。

EyeBot 系列涵盖有多种采用不同行驶形式的移动机器人,有履带小车、全向小车、平衡机器人、六腿步行机器人、双腿类人机器人、自主飞行机器人、自主水下机器人。它还包括用于行驶机器人的仿真系统(EyeSim)及水下机器人的仿真系统(SubSim)。有多个其它的项目采用了 EyeBot 控制器,这其中既有移动机器人也有非机器人的项目。嵌入式系统是电子工程、计算机工程和机电一体化专业中的一门课程,我们在此课程中使用单独的 EyeBot 控制器进行实验,不仅是我们,还有许多其它的大学使用 EyeBot 控制器并结合相应的仿真系统来操控我们发明的移动机器人。



## 致谢

这些控制器硬件和机器人的机械结构是通过商业模式开发的,但仍有多所大学和许多学生对 EyeBot 软件集作出了贡献,参与 EyeBot 项目的大学有:

- Technical University München (TUM), Germany
- University of Stuttgart, Germany
- University of Kaiserslautern, Germany
- Rochester Institute of Technology, USA
- The University of Auckland, New Zealand
- The University of Manitoba, Winnipeg, Canada
- The University of Western Australia (UWA), Perth, Australia

作者向以下学生、老师及同事致以谢意:

Gerrit Heitsch, Thomas Lampart, Jörg Henne, Frank Sautter, Elliot Nicholls, Joon Ng, Jesse Pepper, Richard Meager, Gordon Menck, Andrew McCandless, Nathan Scott, Ivan Neubronner, Waldemar Spädt, Petter Reinholdtsen, BirgitGraf, Michael Kasper, Jacky Baltes, Peter Lawrence, Nan Schaller, Walter Bankes, Barb Linn, Jason Foo, Alistair Sutherland, Joshua Petitt, Axel Waggershauser, Alexandra Unkelbach, Martin Wicke, Tee Yee Ng, Tong An, Adrian Boeing, Courtney Smith, Nicholas Stamatiou, Jonathan Purdie, Jippy Jungpakdee, Daniel Venkitachalam, Tommy Cristobal, Sean Ong, and Klaus Schmitt.

感谢以下人员的手稿校对工作及大量宝贵的建议:

Marion Baer, Linda Barbour, Adrian Boeing, Michael Kasper, Joshua Petitt, Klaus Schmitt, Sandra Snook, Anthony Zaknich, 及施普林格的所有成员。

## 贡献者

很多同事和之前的学生对此书作出了贡献,作者感谢他们为整理材料所付出的努力。

JACKY BALTES	The University of Manitoba, Winnipeg, 对 PID 控制一节有贡献
ADRIAN BOEING	UWA, 步态进化和遗传算法两章的合作者, 对 SubSim 和汽车探测小结有贡献
MOHAMED BOURGOU	TU München 对汽车探测和跟踪小节有贡献
CHRISTOPH BRAUNSCHADEL	FH Koblenz, 对 PID 控制和开/关控制两节的数据绘图有贡献
MICHAEL DRTEL	FH Koblenz, 对 AUV 一章有贡献
LOUIS GONZALEZ	UWA, 对 AUV 一章有贡献
IRGIT GRAF	Fraunhofer IPA, Stuttgart, 对机器人足球一章有贡献
HIROYUKI HARADA	Hokkaido University, Sapporo, 对双足机器人设计小结的可视化示意图有贡献
SIMON HAWE	TU München, 重新应用了 ImprovCV 框架

YVES HWANG	UWA,对遗传算法一章有贡献
PHILIPPE LECLERCQ	UWA,对色彩分割小节有贡献
JAMES NG	UWA,概率定位、BUG 算法、局部算法小节的合作者
JOSHUA PETITT	UWA,对 DC 电机小节有贡献
KLAUS SCHMITT	Univ. Kaiserslautern, RoBIOS 操作系统小节的合作者
TORSTEN SOMMER	TU München,对神经网络演示程序的图表部分有贡献
ALISTAIR SUTHERLAND	UWA,平衡机器人一章的合作者
NICHOLAS TAY	DSTO, Canberra,地图生成一章的合作者
DANIEL	UWA,遗传算法和基于行为两章的合作者,对神经网络一章亦有贡献
VENKITACHALAM	
BERNHARD ZEISL	TU München,车道探测一节的合作者
EYESIM	(V5)由 Axel Waggershauser 实施,(V6)由 Andreas Koestler 实施,UWA,Univ. Kaiserslautern 和 FH Giessen
SUBSIM	(V1)由 Adrian Boeing,Andreas Koestler 和 Joshua Petitt 实施,(V2)由 Thorsten Rühl 和 Tobias Bielohlawek 实施,UWA, FH Giessen 和 Univ. Kaiserslautern

### 附加材料

“EyeCon”控制器硬件和 EyeBot 系列的多种机器人机件可从 INROSOFT 和一些分销商处获得:

<http://inrosoft.com>

本书中所讨论的所有软件:RoBIOS 操作系统、Linux 和 Windows/Vista 环境下的 C/C++ 编译器、系统工具、图像处理工具、仿真系统及大量的实例程序可从下述网址免费获取:

<http://robotics.ee.uwa.edu.au/eyebot/>

### 第 3 版介绍

从本书出版第 1 版到完成第 3 版期间已过去了 5 个年头,在第 3 版中增加了新的章节:CPU、机器人机械手臂和自动汽车系统,并在以下章节增添了内容:导航/定位、神经网络、遗传算法。增加这些章节不单单意味着页数的增长,更重要是对这些课题及当前最新的丰富研究成果的处理将更加完整。

本书整合了嵌入式系统和移动机器人的一些教学和科研的材料,使得读者在此领域可以迅速地入门并能深入跟踪当前研究的课题。

作者再次向所有在我的实验室进行过研究和开发工作,或是以其它形式为此书作出贡献的学生及访问者表示感谢!

本书中所介绍的所有软件,特别是 RoBIOS 操作系统、EyeSim 和 SubSim 仿真系统可从以下网址免费下载:

<http://robotics.ee.uwa.edu.au>

采用此书作为课程教材的教师可以从网站获得作者完整的教案(PowerPoint 幻灯片)、学习指南和实验。最后如果读者开发了一些机器人应用程序并乐意分享的话,随时欢迎将其提交至我们的网站。

托马斯·布劳恩

2008年8月于澳大利亚,珀斯

# 目 录

致中国读者

译者序

前 言

## 第 I 部分:嵌入式系统

### 第 1 章 机器人与控制器

- 1.1 移动机器人 ..... (4)
- 1.2 嵌入式控制器 ..... (6)
- 1.3 接口 ..... (9)
- 1.4 操作系统 ..... (11)
- 1.5 参考文献 ..... (14)

### 第 2 章 中央处理器

- 2.1 逻辑门 ..... (16)
- 2.2 功能单元 ..... (20)
- 2.3 寄存器和存储器 ..... (24)
- 2.4 Retro ..... (26)
- 2.5 算术逻辑单元 ..... (28)
- 2.6 控制单元 ..... (30)
- 2.7 中央处理单元 ..... (30)
- 2.8 参考文献 ..... (40)

### 第 3 章 传感器

- 3.1 传感器分类 ..... (41)
- 3.2 二值传感器 ..... (43)
- 3.3 模拟与数字信号传感器 ..... (43)
- 3.4 轴编码器 ..... (44)
- 3.5 A/D 转换器 ..... (45)
- 3.6 位置敏感传感器 ..... (46)
- 3.7 电子罗盘 ..... (48)

- 3.8 陀螺仪、加速度传感器、倾角传感器 ..... (49)
- 3.9 数字摄像机 ..... (52)
- 3.10 参考文献 ..... (59)

### 第 4 章 执行器

- 4.1 直流电机 ..... (61)
- 4.2 H 桥 ..... (64)
- 4.3 脉宽调制 ..... (65)
- 4.4 步进电机 ..... (67)
- 4.5 伺服器 ..... (67)
- 4.6 参考文献 ..... (68)

### 第 5 章 控制

- 5.1 开关控制 ..... (69)
- 5.2 PID 控制 ..... (74)
- 5.3 转速控制和位置控制 ..... (79)
- 5.4 多电机直线行驶 ..... (80)
- 5.5  $v\omega$  接口 ..... (82)
- 5.6 参考文献 ..... (84)

### 第 6 章 多任务处理

- 6.1 协作式多任务处理 ..... (85)
- 6.2 抢占式多任务处理 ..... (87)
- 6.3 同步 ..... (88)
- 6.4 调度 ..... (92)

6.5	中断和定时器激活的任务	(94)	7.3	容错自配置	(100)
6.6	参考文献	(96)	7.4	用户接口和远程控制	(102)
<b>第7章 无线通信</b>			7.5	应用程序范例	(104)
7.1	通信模型	(97)	7.6	参考文献	(105)
7.2	消息	(99)			

## 第 II 部分:移动机器人设计

<b>第8章 行驶机器人</b>			<b>第12章 自动驾驶飞机</b>		
8.1	单轮驱动	(109)	12.1	应用	(153)
8.2	差速驱动	(110)	12.2	控制系统和传感器	(154)
8.3	履带机器人	(113)	12.3	飞程序	(156)
8.4	同步传动	(114)	12.4	参考文献	(159)
8.5	阿克曼转向	(115)	<b>第13章 自主水上和水下机器人</b>		
8.6	行驶运动学	(117)	13.1	应用	(160)
8.7	参考文献	(121)	13.2	动力学模型	(161)
<b>第9章 全向机器人</b>			13.3	AUV 设计实例 Mako	(162)
9.1	Mecanum 轮	(122)	13.4	AUV 设计实例 USAL	(165)
9.2	全向行驶	(124)	13.5	参考文献	(167)
9.3	运动学	(125)	<b>第14章 机器人手臂</b>		
9.4	全向机器人设计	(126)	14.1	齐次坐标	(169)
9.5	行驶程序	(127)	14.2	运动学	(170)
9.6	参考文献	(129)	14.3	仿真和编程	(173)
<b>第10章 平衡机器人</b>			14.4	参考文献	(174)
10.1	仿真	(130)	<b>第15章 仿真系统</b>		
10.2	倒立摆机器人	(131)	15.1	移动机器人仿真	(175)
10.3	二级倒立摆	(134)	15.2	EyeSim 仿真系统	(176)
10.4	参考文献	(135)	15.3	多机器人仿真	(180)
<b>第11章 步行机器人</b>			15.4	EyeSim 应用	(181)
11.1	六足机器人的设计	(137)	15.5	EyeSim 环境和参数文件	(182)
11.2	双足机器人设计	(139)	15.6	SubSim 仿真系统	(186)
11.3	行走机器人的传感器	(143)	15.7	执行器和传感器模型	(187)
11.4	静态平衡	(144)	15.8	SubSim 应用	(189)
11.5	动态平衡	(146)	15.9	SubSim 环境和参数文件	(191)
11.6	参考文献	(151)			

15.10 参考文献 .....	(193)
------------------	-------

### 第Ⅲ部分:移动机器人应用

<b>第16章 定位与导航</b>		19.6 彩色物体检测 .....	(250)
16.1 定位 .....	(198)	19.7 图像分割 .....	(254)
16.2 概率定位 .....	(202)	19.8 图像坐标与全局坐标 .....	(256)
16.3 坐标系 .....	(205)	19.9 参考文献 .....	(258)
16.4 环境表示 .....	(206)	<b>第20章 机器人足球</b>	
16.5 可视图 .....	(208)	20.1 机器人足球世界杯(RoboCup)	
16.6 维诺图 .....	(209)	和国际机器人足球联赛(FIRA)	
16.7 势场法 .....	(212)	.....	(260)
16.8 漫游观看位算法 .....	(213)	20.2 队形结构 .....	(262)
16.9 BUG 算法系列 .....	(214)	20.3 机械和执行器 .....	(263)
16.10 迪杰斯特拉算法 .....	(217)	20.4 感知 .....	(263)
16.11 A* 算法 .....	(220)	20.5 图像处理 .....	(265)
16.12 参考文献 .....	(221)	20.6 轨迹规划 .....	(266)
<b>第17章 迷宫探索</b>		20.7 参考文献 .....	(271)
17.1 微型鼠竞赛 .....	(223)	<b>第21章 神经网络</b>	
17.2 迷宫探索算法 .....	(225)	21.1 神经网络原理 .....	(272)
17.3 仿真与真实的迷宫程序 ..	(231)	21.2 前馈网络 .....	(273)
17.4 参考文献 .....	(232)	21.3 反向传播 .....	(277)
<b>第18章 地图生成</b>		21.4 神经网络的例子 .....	(280)
18.1 地图生成算法 .....	(233)	21.5 神经网络控制器 .....	(282)
18.2 数据表示 .....	(235)	21.6 参考文献 .....	(283)
18.3 边界跟踪算法 .....	(236)	<b>第22章 遗传算法</b>	
18.4 算法执行 .....	(236)	22.1 遗传算法原理 .....	(284)
18.5 仿真实验 .....	(238)	22.2 遗传算子 .....	(286)
18.6 机器人实验 .....	(239)	22.3 机器人控制中的应用 .....	(287)
18.7 结果 .....	(241)	22.4 进化的例子 .....	(289)
18.8 参考文献 .....	(242)	22.5 遗传算法的实现 .....	(291)
<b>第19章 实时图像处理</b>		22.6 星人机器人 .....	(295)
19.1 摄像机接口 .....	(244)	22.7 参考文献 .....	(297)
19.2 自动亮度 .....	(245)	<b>第23章 遗传编程</b>	
19.3 边缘检测 .....	(246)	23.1 概念与应用 .....	(299)
19.4 运动检测 .....	(248)	23.2 Lisp 语言 .....	(300)
19.5 颜色空间 .....	(249)	23.3 遗传算子 .....	(304)

23.4	进化 .....	(305)	25.3	反馈融合 .....	(331)
23.5	追踪问题 .....	(306)	25.4	控制器进化 .....	(332)
23.6	追踪行为的进化 .....	(309)	25.5	控制器评价 .....	(334)
23.7	参考文献 .....	(312)	25.6	进化的步态 .....	(334)
<b>第 24 章 基于行为的系统</b>			25.7	参考文献 .....	(336)
24.1	软件结构 .....	(314)	<b>第 26 章 汽车自动驾驶系统</b>		
24.2	基于行为机器人学 .....	(315)	26.1	自动驾驶汽车 .....	(338)
24.3	基于行为的应用 .....	(317)	26.2	汽车的自动驾驶改装 .....	(341)
24.4	行为框架 .....	(318)	26.3	用于辅助驾驶系统的计算机视觉 .....	(342)
24.5	自适应控制器 .....	(320)	26.4	图像处理框架 .....	(343)
24.6	循迹问题 .....	(323)	26.5	行车道检测 .....	(344)
24.7	神经网络控制器 .....	(324)	26.6	车辆识别与跟踪 .....	(349)
24.8	实验 .....	(325)	26.7	自动泊车 .....	(352)
24.9	参考文献 .....	(327)	26.8	参考文献 .....	(354)
<b>第 25 章 步态的进化</b>			<b>第 27 章 展望</b>		
25.1	样条 .....	(329)			
25.2	控制算法 .....	(330)			

## 附 录

<b>附录 A 编程工具</b> .....		(361)	C.4	罗盘项 .....	(420)
A.1	系统安装 .....	(361)	C.5	信息项 .....	(421)
A.2	C 与 C++ 编译器 .....	(362)	C.6	红外传感器项 .....	(422)
A.3	汇编器 .....	(364)	C.7	红外电视遥控项 .....	(423)
A.4	调试 .....	(365)	C.8	锁存器项 .....	(424)
A.5	下载与上传 .....	(367)	C.9	电机项 .....	(425)
A.6	参考文献 .....	(368)	C.10	位置敏感设备(PSD)项 .....	(427)
<b>附录 B RoBIOS 操作系统</b> .....		(369)	C.11	正交编码器项 .....	(428)
B.1	监控程序 .....	(369)	C.12	遥控项 .....	(429)
B.2	系统函数和设备驱动库 .....	(373)	C.13	伺服器项 .....	(430)
B.3	硬件描述表 .....	(375)	C.14	开机画面项 .....	(432)
B.4	启动过程 .....	(378)	C.15	开机音乐项 .....	(432)
B.5	RoBIOS 库函数 .....	(379)	C.16	VW 驱动项 .....	(432)
<b>附录 C 硬件描述表</b> .....		(417)	C.17	等待状态项 .....	(433)
C.1	HDT 概述 .....	(417)	<b>附录 D 硬件说明</b> .....		(434)
C.2	电池项 .....	(419)	<b>附录 E 实验</b> .....		(439)
C.3	碰撞感应器项 .....	(419)	Lab 1	控制器 .....	(439)

Lab 2 简单的行驶 .....	(441)	Lab 9 视觉 .....	(445)
Lab 3 仅用红外传感器行驶 .....	(441)	Lab 10 物体检测 .....	(445)
Lab 4 使用摄像机 .....	(442)	Lab 11 机器人群组 .....	(446)
Lab 5 运动控制 .....	(442)	<b>附录 F 答案</b> .....	(448)
Lab 6 沿墙导航 .....	(443)	Lab 1 控制器 .....	(448)
Lab 7 迷宫导航 .....	(443)	Lab 2 简单的行驶 .....	(450)
Lab 8 导航 .....	(443)		
<b>索引</b> .....			(452)



# 第 I 部分

## 嵌入式系统

