

O'REILLY®



ROS机器人 编程实践

Programming Robots with ROS:
A Practical Introduction to the Robot Operating System

Morgan Quigley, Brian Gerkey,
William D. Smart 著
张天雷 李博 谢远帆 大伟晓健 译

机械工业出版社
a Machine Press

ROS 机器人编程实践

Morgan Quigley, Brian Gerkey,

William D. Smart 著

张天雷 李博 谢远帆 大伟晓健 译

Beijing • Boston • Farnham • Sebastopol • Tokyo

O'REILLY®

O'Reilly Media, Inc. 授权机械工业出版社出版

机械工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

ROS 机器人编程实践 / (美) 摩根·奎格利 (Morgan Quigley) 等著; 张天雷等译.
—北京: 机械工业出版社, 2017.10

(O'Reilly 精品图书系列)

书名原文: Programming Robots with ROS

ISBN 978-7-111-58529-9

I. R… II. ①摩… ②张… III. 机器人—程序设计 IV. TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 287414 号

北京市版权局著作权合同登记

图字: 01-2016-1885 号

Copyright © 2015 Morgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart. All rights reserved.

Simplified Chinese Edition, jointly published by O'Reilly Media, Inc. and China Machine Press, 2018. Authorized translation of the English edition, 2015 O'Reilly Media, Inc., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form.

英文原版由 O'Reilly Media, Inc. 出版 2015。

简体中文版由机械工业出版社出版 2018。英文原版的翻译得到 O'Reilly Media, Inc. 的授权。此简体中文版的出版和销售得到出版权和销售权的所有者——O'Reilly Media, Inc. 的许可。

版权所有, 未得书面许可, 本书的任何部分和全部不得以任何形式复制。

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问

北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

书 名 / ROS 机器人编程实践

书 号 / ISBN 978-7-111-58529-9

责任编辑 / 陈佳媛

封面设计 / Ellie Volckhausen, 张健

出版发行 / 机械工业出版社

地 址 / 北京市西城区百万庄大街 22 号 (邮政编码 100037)

印 刷 / 三河市宏图印务有限公司

开 本 / 178 毫米 × 233 毫米 16 开本 23.5 印张

版 次 / 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 / 89.00 元 (册)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010)88379426; 88361066

购书热线: (010)68326294; 88379649; 68995259

投稿热线: (010)88379604

读者信箱: hzit@hzbook.com

O'Reilly Media, Inc.介绍

O'Reilly Media通过图书、杂志、在线服务、调查研究和会议等方式传播创新知识。自1978年开始，O'Reilly一直都是前沿发展的见证者和推动者。超级极客们正在开创着未来，而我们关注真正重要的技术趋势——通过放大那些“细微的信号”来刺激社会对新科技的应用。作为技术社区中活跃的参与者，O'Reilly的发展充满了对创新的倡导、创造和发扬光大。

O'Reilly为软件开发人员带来革命性的“动物书”；创建第一个商业网站（GNN）；组织了影响深远的开放源代码峰会，以至于开源软件运动以此命名；创立了Make杂志，从而成为DIY革命的主要先锋；公司一如既往地通过多种形式缔结信息与人的纽带。O'Reilly的会议和峰会集聚了众多超级极客和高瞻远瞩的商业领袖，共同描绘出开创新产业的革命性思想。作为技术人士获取信息的选择，O'Reilly现在还将先锋专家的知识传递给普通的计算机用户。无论是通过书籍出版，在线服务或者面授课程，每一项O'Reilly的产品都反映了公司不可动摇的理念——信息是激发创新的力量。

业界评论

“O'Reilly Radar博客有口皆碑。”

——Wired

“O'Reilly凭借一系列（真希望当初我也想到了）非凡想法建立了数百万美元的业务。”

——Business 2.0

“O'Reilly Conference是聚集关键思想领袖的绝对典范。”

——CRN

“一本O'Reilly的书就代表一个有用、有前途、需要学习的主题。”

——Irish Times

“Tim是位特立独行的商人，他不光放眼于最长远、最广阔的视野并且切实地按照Yogi Berra的建议去做了：‘如果你在路上遇到岔路口，走小路（岔路）。’回顾过去Tim似乎每一次都选择了小路，而且有几次都是一闪即逝的机会，尽管大路也不错。”

——Linux Journal

译者序

作为一群半宿半夜加班调 Bug 的码农，工作这么繁重，为什么愿意花时间来翻译这本书呢？简言之，有三方面原因。第一是 ROS 很重要，在无人驾驶领域，几乎所有团队都在用；第二是长期以来 ROS 社区优秀的分享和回馈氛围，让我们非常愿意为 ROS 的推广做贡献；第三是这本书本身由开源机器人基金会创始人 Morgan Quigley 和 Brian Gerkey 撰写，写作质量非常高，吴恩达教授推荐，这三人也是我们现实中的好友。

经历了十年发展，ROS 已经从原来的小众玩物，成长为全世界机器人技术研发过程中的中坚支撑。无论是室内小型教育机器人，还是大型矿山机械，ROS 都可以让开发都短时间内上手，开发出自己期望的产品原型，并不断演进迭代。作为耕耘多年的专家，Morgan 和 Brian 一直以来都致力于推进 ROS 社区发展，他们的贡献得到了大家的认可。

如今他们将技术落实为本书，大纲的设计既照顾了初学者，也照顾了资深技术人员，内容不但包括 ROS 关键理念、工具和模式，还包括感知、定位、导航等更加深入的机器人学内容，而且好多代码由 Python 实现，使得本书成为不可多得的参考工具书。

能够参与本书的翻译工作是我们的荣幸，也希望能够为 ROS 的推广和运用尽到微薄之力。

译者

2017 年 9 月

目录

前言	1
第一部分 基础知识	
第1章 概述	9
简史	9
理念	10
安装	11
小结	12
第2章 预备知识	13
ROS图	13
roscore	15
catkin、工作区以及ROS程序包	16
roslaunch	19
命名、命名空间以及重映射	24
roslaunch	25
tab键	26
tf: 坐标系转换	27
小结	30
第3章 话题	31
将消息发布到话题上	32

订阅一个话题	36
锁存话题	38
定义自己的消息类型	39
让发布者和订阅者协同工作	46
小结	47
第4章 服务	48
定义服务	48
实现服务	51
使用服务	54
小结	56
第5章 动作	57
动作的定义	58
实现一个基本的动作服务器	59
动作的使用	62
实现一个更复杂的动作服务器	64
使用更复杂的动作	66
小结	69
第6章 机器人与仿真器	71
子系统	71
机器人系统举例	79
仿真器	83
小结	86
第7章 Wander-bot	88
创建包	88
读取传感器数据	91
感知环境并移动：Wander-bot	94
小结	96

第二部分 使用ROS驱动机器人行走

第8章 遥控机器人	99
开发模式	100
键盘驱动	100
运动生成器	102
参数服务器	107
速度斜坡曲线	109
开车	111
rviz	113
小结	120
第9章 创建环境地图	121
ROS中的地图	121
使用rosviz记录数据	124
创建地图	125
启动地图服务器以及查看地图	131
小结	133
第10章 在真实环境中的导航	135
在地图中定位机器人	135
使用ROS的导航软件包	139
在代码中进行导航	144
小结	145
第11章 下棋机器人	146
关节、连接以及传动链	147
成功的关键	150
安装和运行一台仿真R2	152
在命令行中移动R2	155
在棋盘上移动R2的机械臂	156
操作机械手	158
对棋盘建模	159

重演著名的棋局	163
小结	167

第三部分 感知和行为

第12章 循线机器人	171
采集图像	171
检测指示线	177
循线运动	182
小结	184
第13章 巡航	185
简单巡航	185
状态机	186
用smach构建状态机	188
用状态机实现巡航	195
小结	198
第14章 仓储机器人	199
仓库模拟环境	199
驶入隔间	210
拾取物体	214
小结	224

第四部分 添加自定义ROS组件

第15章 添加你自己的传感器和执行器	227
添加你自己的传感器	227
添加你自己的执行器	234
小结	240
第16章 添加你自己的移动机器人：第一部分	242
小龟机器人	242

ROS 消息接口	244
硬件驱动	247
使用 URDF对机器人建模.....	247
在 Gazebo 中进行仿真	255
小结.....	261
第17章 添加你自己的移动机器人：第二部分.....	262
验证坐标变换信息.....	262
添加激光传感器	266
配置导航程序栈	270
使用 rviz 定位和控制导航中的机器人	275
小结.....	278
第18章 添加你自己的机械臂	279
猎豹机械臂.....	279
ROS 消息接口	281
硬件驱动	282
对机器人建模：使用 URDF.....	282
在 Gazebo 中进行仿真	287
验证坐标变换信息.....	294
配置 MoveIt.....	297
使用 rviz 控制机械臂.....	301
小结.....	303
第19章 添加软件库	305
让你的机器人开口说话：使用 pytttsx.....	305
小结	312
第五部分 ROS使用小知识	
第20章 ROS小工具	315
主机及其相关组件：roscore.....	315
参数管理：roscparam	316

文件系统导航: roscd	317
节点启动: rosrn	318
多节点启动: roslaunch	318
多节点系统测试: rostest	321
系统监控: rosnod、rostopic、rosmg、rosservice和rossrv	324
小结	327
第21章 机器人行为调试	329
日志消息: /rosout和rqt_console	329
节点、话题和连接: rqt_graph和roscnode	336
传感器融合: 使用 rviz	343
绘制数据图表: 使用 rqt_plot	344
数据记录和分析: 使用roscbag和rqt_bag	346
小结	350
第22章 ROS在线社区	351
社区的礼仪	351
ROS 维基	352
ROS Answers: 一个 ROS 问答社区	353
bug 追踪与新特性请求	354
邮件列表与ROS兴趣小组	354
查找和分享代码	354
小结	355
第23章 用C++编写ROS程序	356
C++ (或其他语言) 的使用场景	356
使用catkin编译C++	357
在Python和C++之间来回移植程序	359
小结	364

前言

ROS (Robot Operating System, 机器人操作系统), 是一个让机器人能够运作起来的开源程序框架。ROS 诞生的初衷是能够为那些制作和使用机器人的人提供通用的软件平台。这个平台能够让人们更加便捷地分享代码与想法, 这意味着你不再需要花费经年累月的时间去编写软件框架就能让你的机器人动起来!

ROS 取得了巨大的成功。截止撰写本书之时, 官方发行的 ROS 版本中有超过 2000 个软件包, 并被 600 多人编写和维护。ROS 支持大约 80 个市场上可以买到的机器人, 我们还可以在至少 1850 篇学术文献中找到 ROS 的踪影。从此我们不再需要从零开始编写所有程序, 特别是当要对众多 ROS 所支持的机器人中的一个进行开发时, 我们可以更加专注于机器人技术本身, 而不是“位操作”或者设备驱动。

ROS 由许多部分所组成, 包含如下这些:

1. 一系列可以让你从传感器读取数据以及向电动机等执行机构发送指令的驱动程序, 而且这些数据的格式都经过良好的抽象与定义。ROS 支持非常多的主流硬件, 包括越来越多市场上可以买到的机器人系统。
2. 海量且日渐增多的基本机器人算法, 让你能够轻松构建世界地图、在其中穿梭、表示并解析传感器数据、规划动作、操纵物体, 以及实现许多其他功能。ROS 在机器人研究社区中饱受欢迎, 因此许多最前沿的算法现在都可以在 ROS 中找到。
3. 充足的计算基础设施, 使数据能够四处传递, 让众多模块可以连接成一个复杂的机器人系统并帮助你整合算法。ROS 天生的分布式架构让你能够轻松地将计算压力无缝地分担到多台计算机上。

4. 一系列实用工具，使得对机器人及算法的可视化、错误行为的调试以及传感器数据的录制都变得非常容易。对机器人程序的调试是极为困难的，因此也正是这一系列丰富的工具使得 ROS 如此强大。
5. 最后，ROS 具有比其本身更为庞大的 ROS 生态系统，它的扩展资源众多，包含了一个记录整个框架方方面面的 wiki 文档，一个专门用于提问与解答的网站，通过该网站你可以寻求帮助并分享自己的所学，以及一个充满使用者与开发者的欣欣向荣的社区。

那么，为什么你需要学习 ROS 呢？最简单的答案就是，它将会为你节省时间。ROS 包含了机器人软件系统的所有部分，没有它，你就只能自己一一编写。ROS 使你能够更加专注于系统中你最关心的部分，而无须操心那些你不那么关注的部分。

为什么你需要读这本书？ROS 的 wiki 文档中包含了大量内容，涉及框架中许多方面的详细教程。一个活跃的用户社区 (<http://answers.ros.org>) 随时准备解答你的问题。为什么不直接通过这些资源学习 ROS？在本书中我们所做的就是以一种更加有序的方式将这些知识呈现给你，并给出容易理解的实例，使你知道如何使用 ROS 让你的实物或仿真机器人去做些有趣的事。我们还尝试通过提供技巧和提示来给予你各种指导，比如如何整合代码，如何在机器人行为不合预期时调试代码以及如何成为 ROS 社区的一员。

如果你不是资深程序员，学习 ROS 会有些吃力，系统中包含了分布式计算、多线程、事件驱动的编程以及深藏在系统底层的一大堆概念。如果你不怎么懂这些内容，你的学习曲线将会非常陡峭。本书通过介绍 ROS 的基本概念并给出在实物或仿真机器人中的常见应用实例来尽可能地使这条学习曲线变得平缓一些。

谁应该阅读本书

如果你想让你的机器人在现实世界中做一些事情，而又不想把时间浪费在“重新发明轮子”上，那么这本书就是为你准备的。ROS 包含了让机器人运转起来所需要的基础架构以及用来驱动机器人做一些有趣事情的足够多的算法。

如果你对某些特别的方面比如路径规划等感兴趣，并且想在完整的机器人系统背景下研究它们，那么这本书就是为你准备的。本书将展示如何使用 ROS 提供的基础架构和算法来驱动机器人做一些有趣的事情以及如何用你自己的算法替换掉现有的算法。

如果你想要了解 ROS 基本的运转机制和用法，想要了解 ROS 大概能做哪些事情，但是又苦于 wiki 的内容太过庞杂，那么这本书也是为你准备的。我们将带领你了解 ROS 的运转机制和一些简单的工具。我们也会提供一些具体的、完整的例子，你可以基于这些例子进行开发，修改它们来实现自己的想法。

谁不适合阅读本书

虽然我们不想拒绝任何人阅读本书，但是本书并不是对所有人都适用的资源。我们对你使用的机器人做了一些隐含的假设。它们应该运行 Linux，有很好的计算资源（至少相当于一台笔记本电脑）。它们有先进的传感器，比如 Microsoft Kinect。它们应该是放在地上的，并且可能需要在实际环境中移动。如果你的机器人不满足上述这些要求，那么本书中的例子就不能立刻成功运行，尽管程序和工具本身并没有问题。

本书主要是关于 ROS 的，并不是关于机器人学的。尽管你可以从本书中学到一点机器人学相关的知识，但是我们不会深入地探讨 ROS 中包含的很多算法。如果你想获取更多关于机器人学的介绍，那么这本书不是为你准备的。

你将学到什么

本书想要广泛地介绍如何使用 ROS 对机器人进行编程。本书涵盖构成 ROS 核心的基本运转机制和简单工具，并将展示如何使用它们创建控制机器人的软件。我们将展示一些具体的例子，这些例子讲述了如何使用 ROS 控制你的机器人做一些有趣的事情。同时，我们将给出一些如何基于这些例子来创建你自己的机器人的建议。

除了技术内容之外，我们还将展示如何使用 ROS 巨大的生态系统，比如 wiki 和问答社区，以及如何成为全球 ROS 社区的一员，与全世界的其他机器人爱好者分享代码和新知识。

预备知识

在阅读和使用本书之前，你必须了解几件事情。由于 ROS 是一个软件框架，因此为了更好地了解 ROS 你非常有必要了解如何编程。虽然在 ROS 中可以使用很多种语言，但是在本书中我们使用 Python。如果你不了解 Python，那么很多代码对你来说就没多大意义了。幸运的是，Python 是一门易于学习的语言！有很多很不错的书和免费的网站，你可以使用这些资源来学习 Python，Python 的官方网站是 <http://python.org>。

最适合运行 ROS 的环境是 Ubuntu Linux，有一些 Linux 的经验能够让学习轻松一点。我们在讲述过程中将会介绍一些必要的 Linux 相关内容，但是对文件系统、bash 命令行以及至少一种编辑器有一些基本的了解将有利于你将更多的精力放在 ROS 相关的内容上。

尽管不是必要的，但是对机器人学有基本的了解也将有所帮助。了解一些机器人学所使用的基本数学知识，比如坐标变换、传动链等，对理解书中所讲述的一些 ROS 机制也很

有帮助。再次强调，我们将简要介绍这些内容，但是如果你不熟悉这些东西，你可能要额外地学习、深入机器人学的相关文献来补充相关背景。

排版约定

斜体

表示新的术语、网址、邮件地址、目录、路径名、文件名以及文件扩展名。

等宽字体 (Constant width)

表示程序代码，在正文中出现的代码中的元素，如变量名、函数名、命名空间、数据类型、环境变量、语句以及关键词等，也用来表示命令、命令行工具以及 ROS 的包、节点、话题等。

等宽加粗 (Constant width bold)

表示命令以及其他一些需要用户完全按照字面输入的文字。

等宽斜体 (Constant width italic)

表示需要用户根据自身情况替换的文字以及由上下文决定的一些值。



这个图标表示一般的注释。



这个图标表示建议或者小贴士。



这个图标表示警告。

代码示例的使用

一些补充材料（代码示例、练习等）可以从地址 <https://github.com/osrf/rosbook> 获取。

本书的目的是帮助你完成工作。为了达到这个目的，上述链接指向的代码仓库中的代码根据 Apache 2.0 许可证是可用的，这一许可证允许你重用代码。

我们希望但是不强制你引用本书。一条引用通常包含书名、作者、出版商以及 ISBN，如“*Programming Robots with ROS* by Morgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart (O'Reilly). Copyright 2015 Morgan Quigley, Brian Gerkey, and William D. Smart, 978-1-4493-2389-9”。

如果你感觉你对代码的利用超出了正常使用范围或上述许可范围，请联系我们：permissions@oreilly.com。

Safari 在线电子书

Safari Book Online 是一个在线的电子图书馆，收录了大量当下热门的电子图书及配套的影像资料，涵盖商业的技术领域的各个方面。得到了技术专家、软件开发人员、网页设计师和商业人士的广泛使用和认可。通过它，你可以获取研究资料、解决难题、学习新知识和接受技术培训等。

Safari Books Online 针对企业、政府和教育机构提供了不同的购买计划，你可以根据实际需求进行选购。

购买 Safari Books Online 服务后，你就可以通过在线数据库搜索访问数以千计的书籍、培训视频甚至是预出版的样书。这些资料来自于包括 O'Reilly Media、Prentice Hall Professional、Addison-Wesley Professional、Microsoft Press、Sams、Que、Peachpit Press、Focal Press、Cisco Press、John Wiley & Sons、Syngress、Morgan Kaufmann、IBM Redbooks、Packt、Adobe Press、FT Press、Apress、Manning、New Riders、McGraw-Hill、Jones & Bartlett、Course Technology 等出版社。

如何联系我们

美国：

O'Reilly Media, Inc.
1005 Gravenstein Highway North
Sebastopol, CA 95472

中国：

北京市西城区西直门南大街 2 号成铭大厦 C 座 807 室 (100035)
奥莱利技术咨询 (北京) 有限公司

本书也有一个配套网站，网站上的内容包括勘误表、代码示例以及一些与本书相关的额外信息。网站的地址是：http://bit.ly/prog_robots_w_ros。

如果有关于本书的技术性疑问，请发电子邮件至 bookquestions@oreilly.com。

关于本书的更多信息，如相关课程、会议、新闻等，请访问我们的网站 <http://www.oreilly.com>。

致谢

首先，也是最重要的，我们要感谢 O'Reilly 的三位编辑 Mike Loukides、Meg Blanchette 以及 Dawn Schanafelt。在本书写作过程中，他们表现出了极大的耐心和极高的责任心。我们还要感谢所有为本书提供反馈的人，尤其是 Andreas Bihlmaier、Jon Bohren、Zach Dodds 和 Kat Scott。他们的评论和建议让本书变得更好。

当然，我们还要感谢所有帮助我们调试从而使 ROS 在我们的机器人上正常运行的人。Mike Ferguson 提供了 Fetch 示例。来自开源机器人基金会 (Open Source Robotics Foundation, OSRF) 的 Steve Peters、Nate Koenig 以及 John Hsu 解答了一些 Gazebo 仿真的问题。William Woodall 和 Tully Foote (都来自 OSRF) 解答了很多很深入的 ROS 问题。

也感谢 Dylan Jones 在本书出版前的最后一刻找出了一个代码漏洞。

最后，我们要感谢全世界 ROS 社区的作者、维护者以及用户。如果没有他们的努力，ROS 就不会发展成今天的样子，本书也不会出版。