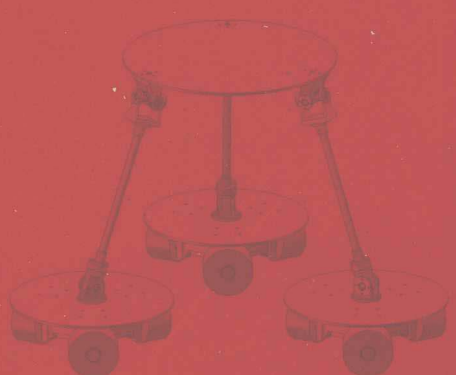
开源机器人操作系统
—— ROS

张建伟　张立伟　胡　颖　张　俊　编著



科学出版社

开源机器人操作系统—ROS

张建伟　张立伟　胡　颖　张　俊　编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

目前，ROS(robot operating system)逐步成为机器人研发领域的通用性软件平台。本书是国内第一本全面介绍 ROS 的中文版图书。

ROS 是开源的用于机器人的一种后操作系统，或者说次级操作系统。它提供类似操作系统所提供的功能，包含硬件抽象描述、底层驱动程序管理、共用功能的执行、程序间的消息传递、程序发行包管理，它也提供一些工具程序和库用于获取、建立、编写和运行多机整合的程序。

本书附光盘一张，内容包括书中的部分例子源代码和 Diamondback 及 Electric 版本安装后在本地硬盘上的全部程序，以便于读者对照自己的安装版本进行调试。

本书可作为机器人研究者以及机器人爱好者应用 ROS 构建机器人软件系统的参考手册。

图书在版编目(CIP)数据

开源机器人操作系统：ROS/张建伟等编著. —北京：科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035434-1

Ⅰ. ①开… Ⅱ. ①张… Ⅲ. ①机器人-操作系统 Ⅳ. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 201958 号

责任编辑：刘宝莉／责任校对：宋玲玲

责任印制：张 倩／封面设计：陈 敬

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

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 9 月第 一 版 开本：B5(720 × 1000)

2012 年 9 月第一次印刷 印张：19 3/4 彩插：4

字数：417 000

定价：88.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题，我社负责调换)

前　言

近年来，机器人研发领域对代码复用和模块化的需求越来越强烈，而已有的开源机器人系统又不能很好地适应该需求。2010 年 Willow Garage 公司发布了开源机器人操作系统 ROS (robot operating system)，由于其具有点对点设计、不依赖编程语言、开源等优点，很快在机器人研究领域展开了学习和使用 ROS 的热潮。

笔者所在的中国科学院深圳先进技术研究院认知技术研究中心致力于服务机器人的研发，在其面世伊始就开始使用 ROS，目前已经近两年。本书是根据研究组人员在学习和使用 ROS 过程中遇到的问题和经验编写而成，相信对广大同行和机器人爱好者会有所裨益。

ROS 是开源机器人操作系统，遵循 BSD 协议，对用户和商业应用免费。

本书是国内第一本全面介绍 ROS 的中文版图书。全书内容共分九章，覆盖了 ROS 基本编程的大部分内容。利用现有的因特网上最新资料为蓝本，深入浅出地介绍了 ROS 的总体架构和涉及的主要领域，全面地对 ROS 安装及使用过程中常见问题给出了解答。

书中第一、二章由张建伟执笔；第三、七、八章由张立伟执笔；第三、五章由胡颖执笔；第六章由张俊、胡颖执笔；第九章由张俊执笔。最后由张建伟统稿。其中，刘会芬和陈楠提供了部分实验演示代码。

全书结构清晰、合理，语言浅显易懂。对广大从事机器人、人工智能、计算机视觉等相关领域的科研人员和研究生及高年级本科生等，不失为一本重要的自学、教学参考书。

本书相关研究获得中国科学院知识创新工程重要方向项目“下一代自主机器人的关键技术 —— 基于经验的记忆学习”(项目编号：KGCXZ-YW-128) 以及国家自然科学基金项目 (项目编号：61105130、61105132、61175124、61210013) 的资助。

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者和同行批评指正。

术语列表

英文术语	中文术语
ROS	机器人操作系统
Package	功能包
Stack	功能包集
Message	消息
Service	服务
Topic	主题
Node	节点
Master	节点管理器
Parameter Server	参数服务器
Bag	消息记录包
Publisher/Subscriber	主题发布者/订阅者
Launch	启动
Talker/Listener	消息发布者/接收者
Filesystem Level	文件系统级
Computation Graph Level	计算图级
Community Level	社区级
Package Resource Name	功能包源名称
Graph Resource Name	计算图源名称
Client Library	客户端库
Distribution	发行版
Repositories	软件版本仓库
Namespace	命名空间
Base Name	基本名称
Global Name	全局名称
Private Name	私有名称
Relative Name	相对名称
NodeHandle	节点句柄
Timer	计时器
Transform	变换

目　录

第一章 ROS 简 介

1.1 ROS 简 介

随着机器人领域的快速发展和复杂化，代码复用和模块化的需求越来越强烈，而已有的开源机器人系统又不能很好地适应该需求。2010 年 Willow Garage[1] 公司发布了开源机器人操作系统 ROS(robot operating system)，很快在机器人研究领域展开了学习和使用 ROS 的热潮。

ROS[2] 是用于机器人的一种开源的后操作系统，或者说次级操作系统。它提供类似操作系统所提供的功能，包含硬件抽象描述、底层驱动程序管理、共用功能的执行、程序间的消息传递、程序发行包管理，它也提供一些工具程序和库用于获取、建立、编写和运行多机整合的程序。ROS 还提供了库和工具来帮助软件开发者创建机器人的应用程序。

ROS 的主要设计目标是便于机器人研发过程中的代码复用。因此 ROS 是一种分布式的进程框架，使得执行程序可以各自独立地设计，松散地、实时地组合起来。这些进程可以按照功能包和功能包集的方式分组，因而可以容易地分享和发布。ROS 也支持代码库的系统联合。

ROS 执行若干种类型的通信，包括基于服务的同步 RPC 的通信、基于主题的异步数据流及参数服务器上的数据存储。虽然 ROS 集成了实时的代码，但它本身并不具有实时性。

ROS 的主要特点可以归结为以下几条：

(1) 点对点设计。ROS 通过点对点设计以及服务和节点管理器等机制可以分散由于计算机视觉和语音识别等功能带来的实时计算压力，这种设计能够适应服务机器人遇到的挑战。

(2) 不依赖编程语言。ROS 支持多种现代编程语言。C++、Python 和 Lisp 语言已经在 ROS 中实现编译，并得到应用，Octave 和 Java 的测试库也已经实现。为了支持多语言编程，ROS 采用了一种语言中立的接口定义语言 (language-neutral interface definition language，IDL) 来实现各模块之间的消息传送。

(3) 精简与集成。ROS 不修改用户的 main() 函数。所以代码可以被其他的机器人软件使用。其优点是 ROS 很容易和其他的机器人软件平台集成。在计算

机视觉算法方面，ROS 已经与 OpenCV 实现集成。在驱动、导航和模拟器方面，ROS 已经与 Player 系统实现集成。在规划算法方面，ROS 已经与 OpenRAVE[3] 系统实现集成。

(4) ROS-agnostic 库：首选的开发模型是带有清除功能的接口实现的 ROS-agnostic 库。

(5) 便于测试。ROS 拥有一个名为 rostest 的内建单元/集成测试平台，它很容易集成调试和分解调试。

(6) 规模。ROS 适用于大型运行系统和大型程序开发。

(7) 开源。ROS 遵从 BSD 协议，对个人及商业应用及修改完全免费。

ROS 在某些程度上和下列机器人架构有些相似之处：Player[4]、YARP[5]、Orocos[6]、CARMEN[7]、Orca[8]、MOOS[9] 和 Microsoft Robotics Studio[10]。对于简单的无机械手的移动平台机器人来说，Player 是非常不错的选择。ROS 则不同，它被设计为适用于有机械臂和运动传感器的移动平台 (倾角激光、云台、机械臂传感器)。与 Player 相比，ROS 更有利于分布式计算环境。当然，Player 提供了较多的硬件驱动程序，ROS 则在高层架构上提供了更多的算法应用 (如集成 OpenCV 的视觉算法)。

ROS 系统最早源于 2007 年斯坦福大学人工智能实验室的 STAIR 项目与机器人技术公司 Willow Garage 的个人机器人项目 (Personal Robotics Program) 之间的合作，2008 年之后由 Willow Garage 公司推动其发展。目前稳定版本情况如下：

- ROS Fuerte Turtle。2012 年 4 月 23 日发布 (见图 1.1)。

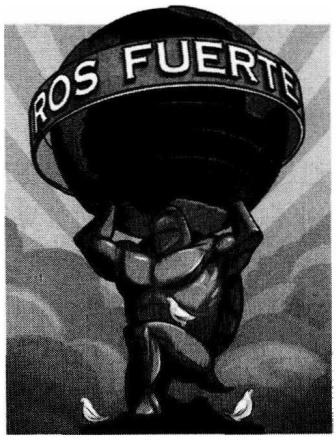


图 1.1 ROS 版本 Fuerte

- ROS Electric Emys。2011 年 8 月 30 日发布 (见图 1.2)。

图 1.2 ROS 版本 Electric

• ROS Diamondback。2011 年 3 月 2 日发布 (见图 1.3)。

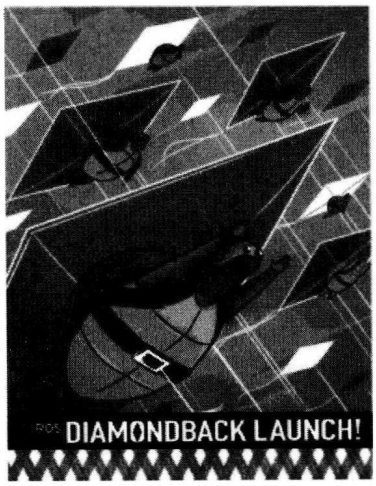


图 1.3 ROS 版本 Diamondback

• ROS C Turtle。2010 年 8 月 2 日发布 (见图 1.4)。

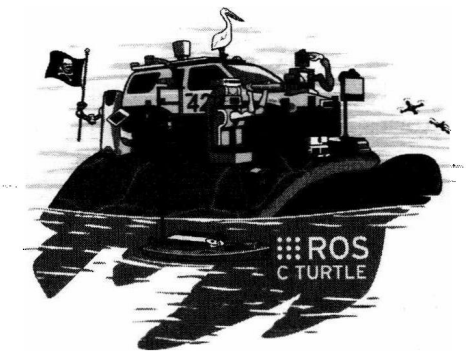


图 1.4 ROS 版本 C Turtle

• ROS Box Turtle。2010 年 3 月 2 日发布 (见图 1.5)。

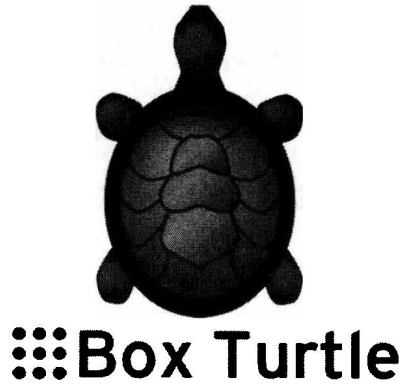


图 1.5 ROS 版本 Box Turtle

1.2 ROS 安 装

ROS 目前支持的操作系统有：Ubuntu、OS X、Arch、Federa、Gentoo、OpenSUSE、Slackware、Debian。另外，还可以在 Windows 和 FreeBSD 上安装部分功能。由于 ROS 主要支持 Ubuntu 操作系统，因此，本书以 Ubuntu 操作系统下的安装及使用为例，详细描述 ROS 的主要框架及使用方法。

本书在成书过程中，ROS 的稳定版本为 Diamondback，第六章中抓取任务的部分程序涉及 ROS Electric Emys 版本，因此书中如无说明，所有程序测试以 Diamondback 版本为主。

本小节以 Diamondback 在 Ubuntu 10.04 LTS[11, 12] 上面安装为例，介绍 ROS 安装过程。

1. 配置 Ubuntu 系统

配置 Ubuntu repositories 为 “restricted”，“universe” 和 “multiverse”。

2. 配置 sources.list

设置计算机使得可以从 ROS.org 接收软件。

(1) Ubuntu 10.04 (Lucid)。

```
sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu lucid
main" >/etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

(2) Ubuntu 10.10 (Maverick)。

```
sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu
maverick main" >/etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

(3) Ubuntu 11.04 (Natty)。

```
sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu natty
main" >/etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

3. 设置 keys

```
wget http://packages.ros.org/ros.key -O - | sudo apt-key add -
```

4. 安装

重新定向 ROS 服务器：`sudo apt-get update`

下面提供四种版本的安装命令：

(1) 桌面完全版安装 (推荐安装)：ROS、rx、rviz、robot-generic 库、2D/3D simulators、navigation 和 2D/3D perception。

```
sudo apt-get install ros-diamondback-desktop-full
```

(2) 桌面版安装：ROS、rx、rviz 和 robot-generic 库。

```
sudo apt-get install ros-diamondback-desktop
```

(3) ROS-Base：ROS 主要功能包、build 和 communication 库。不安装 GUI 工具。

```
sudo apt-get install ros-diamondback-ros-base
```

(4) 独立的功能包集：用户也可以安装特定的 ROS 功能包集。

```
sudo apt-get install ros-diamondback-STACK
```

例子：

```
sudo apt-get install ros-diamondback-slam-gmapping
```

5. 环境设置

环境变量设置是为了每次一个新的 shell 被调用的时候，ROS 的环境变量自动被加入到用户的 bash session 中。

```
echo "source /opt/ros/diamondback/setup.bash" >> ~/.bashrc
. ~/.bashrc
```

如果安装了不止一个版本的 ROS，`~/.bashrc` 必须是当前使用版本的唯一源 setup.bash。

如果需要修改当前 shell 的环境，可以使用下面命令：

```
source /opt/ros/diamondback/setup.bash
```

1.3 ROS 支持的机器人

ROS 官方网站上列出的支持的机器人系统如下：

- **AscTec Pelican/Hummingbird**
- **Care-O-bot**
- **Erratic**
- **Lego NXT**
- **TurtleBot**
- **PR2**
- **Shadow Robot**

1.4 ROS 网上资源

ROS 官方网站给出了详细的资料：http://www.ros.org/。

第二章　ROS 总体框架及基本命令

通过第一章中的简单介绍，已经知道 ROS 的一些基本特点：ROS 是一个开源的元级操作系统 (后操作系统)，一些包、软件工具的集合。它跨机器进行通信的体系架构提供了对系统进行实时数据分析、编程语言独立 (C++、Python、Lisp、Java 等) 等功能。它提供类似于操作系统的服务，包括硬件抽象描述、底层驱动程序管理、共用功能的执行、程序间消息传递、程序发行包管理，它也提供一些工具和库用于获取、建立、编写和执行多机融合的程序。本章将对 ROS 的总体框架和基本命令、基本工具进行介绍。

2.1　ROS 总体框架

根据 ROS 系统代码的维护者和分布来标识，主要有两大部分，一部分是核心部分，也是主要部分，一般称为 main。主要是 Willow Garage 公司和一些开发者来设计提供与维护。它们提供一些分布式计算的基本工具，以及整个 ROS 系统核心部分的程序编写。这部分内容即被存储在计算机的安装文件中。另外一部分是全球范围的代码，被称为 universe，由不同国家的 ROS 社区组织开发和维护。一种是各种库的代码，如 OpenCV、PCL 等；库的上一层是从功能的角度提供的代码，如人脸识别等，它们调用各种库来实现这些功能；最上层的代码是应用级代码，叫做 apps，可以让机器人完成某一种应用，如去拿啤酒，而这个过程则调用不同功能的代码进行组合，如啤酒的识别、抓取啤酒等。这个一般需要用户下载相应的功能包，然后学习和使用。

不过，对于使用者来说，无论是谁提供和维护的代码，用户都可以下载到自己的电脑上，然后进行下一步的工作。

我们还可以从另外的角度来理解 ROS。ROS 系统有三级概念：文件系统级、计算图级、社区级。除此之外，ROS 也有两种类型的命名：功能包源名称和计算图源名称。

2.1.1　文件系统级

ROS 文件系统级指的是可以在硬盘上面查看的 ROS 源代码，包括如下几种形式：