



边探索边学习

学Arduino 玩转乐高机器人

用开源硬件扩展LEGO MINDSTORMS NXT
功能的制作项目

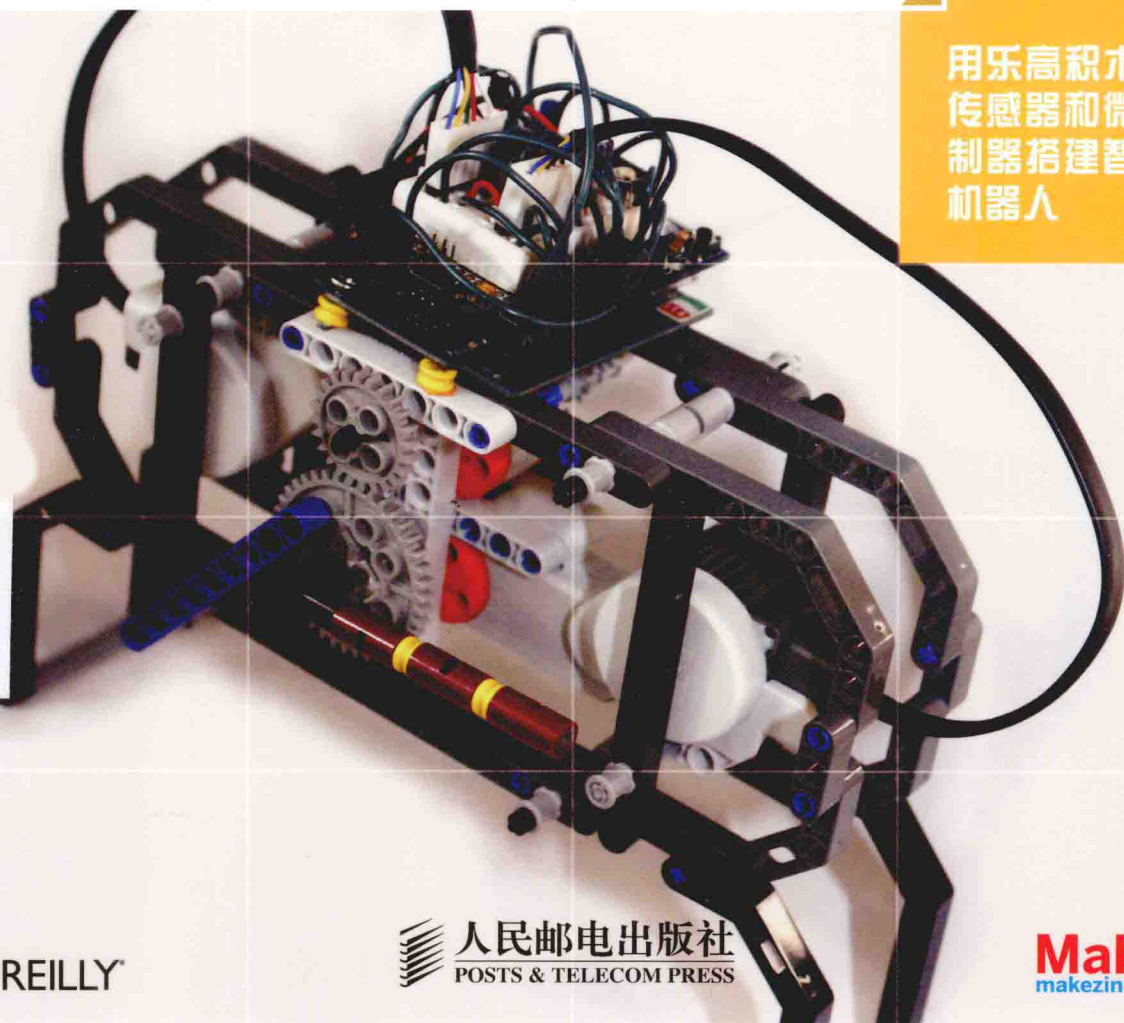
[美] John Baichtal
Matthew Beckler
Adam Wolf 著

宫广骅 译

Make: LEGO and Arduino Projects

Projects for Extending MINDSTORMS NXT with Open-Source Electronics

用乐高积木、
传感器和微控
制器搭建智能
机器人



O'REILLY

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

Make:
makezine.com

学Arduino 玩转乐高机器人

用开源硬件扩展LEGO MINDSTORMS NXT
功能的制作项目

Make: LEGO and Arduino Projects

Projects for Extending MINDSTORMS NXT with Open-Source Electronics

John Baichtal
[美] Matthew Beckler 著
Adam Wolf
宫广骅 译

O'REILLY®

Beijing • Cambridge • Farnham • Köln • Sebastopol • Tokyo

O'Reilly Media, Inc.授权人民邮电出版社出版

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

爱上机器人 : 学Arduino玩转乐高机器人 / (美) 贝
克托 (Baichtal, J.), (美) 贝克勒 (Beckler, M.),
(美) 沃尔弗 (Wolf, A.) 著 ; 宫广骅译. — 北京 : 人
民邮电出版社, 2014. 4
ISBN 978-7-115-34579-0

I. ①爱… II. ①贝… ②贝… ③沃… ④宫… III.
①单片微型计算机—应用—机器人—制作 IV. ①TP242

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第029807号

版权声明

Copyright ©2012 by O'Reilly Media, Inc.

Simplified Chinese Edition, jointly published by O'Reilly Media, Inc. and Posts & Telecom Press, 2014. Authorized translation of the English edition, 2012 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 2012。简体中文版由人民邮电出版社出版 2014。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。



Arduino 和 MINDSTORMS NXT 乐高机器人是当今科技爱好者的两大宠儿, 本书突破性地将两者结合在一起, 介绍如何利用 Arduino 来扩展 MINDSTORMS NXT 机器人的性能, 从而制作一些有趣的作品, 如巧克力牛奶机、遥控台灯、机械臂机器人等, 适合喜欢机器人制作的爱好者阅读。

-
- ◆ 著 [美] John Baichtal Matthew Beckler Adam Wolf
译 宫广骅
责任编辑 周桂红
执行编辑 马 涵
责任印制 彭志环 焦志炜
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京精彩雅恒印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 12.25
字数: 348 千字 2014 年 4 月第 1 版
印数: 1~3 000 册 2014 年 4 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记号 图字: 01-2013-8470 号
-

定价: 69.00 元

读者服务热线: (010) 81055339 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

前言

还记得最初使用乐高机器人实验时的兴奋感吗？这就像整个宇宙都向你们打开了一样！利用可以制作的多种机器人来迎接有趣的挑战，完成实验以及实现有趣的算法，可能性是无穷无尽的。从改装一些具有发光二极管的积木到把配件粘贴在一起提升机器人的性能，使用乐高进行机器人制作是一项非常令人兴奋的体验。

本人最喜爱的与乐高机器人有关的实验，就是确定使用光线传感器或触碰传感器（这种传感器是利用弹簧的胡克定律标定得到的）对于药片计数是否会有更好的效果。在真实世界的应用以及背后应用的科学方法中徜徉，最后在我所在的高中和区域科学博览会上赢得了两枚金牌。

为了在机器人科学中加速实现更为高级的实验，使用 RCX2.0 并不是一个可行的解决方案。缺少与各种各样的传感器和螺线管实现接口的能力是主要的障碍，所以我开始探索 Arduino 的巨大领域！从那时开始，我的视野得到了扩展，领略了机器人世界更多、更有趣的方面。

学习机器人之旅是非常有趣的，而且永无止境。这本书对于推动你进行更为深入的机器人制作是非常巨大的帮助。你不仅能够制作出处理更复杂挑战或者完成更深入实验的更精致的机器人，而且还有更多的机会发现你最喜爱机器人的那些领域，无论这一领域是编程、电子方面、机械方面，还是设计或者实现。

当人们着手实现利用 Arduino 的全新乐高机器人时，这就像是整个宇宙再次向人们打开，有更多的新奇事物等待你去探索！拥抱这些新奇的事物，因为你永远不知道你的下一项机器人创造会把你带向何方。一定要与你的朋友或者在线社区分享你对于机器人的兴奋。记住，机器人教会我们认识自己，认识我们的思考、表现和行为的方式。

欢迎来到机器人的美妙世界！现在开始学习，并把你的机器人提升到更高的境界！

—— Erin “RobotGrrl” Kennedy

关于作者

John Baichtal 是《爱上制作》英文版和“怪才老爸”博客的作者，也是《乐高神话》一书的作者之一。

Matthew Beckler 是卡耐基梅隆大学电子工程学的研究生，也是 LLC 的创始人之一，在这里他制作开源硬件。

Adam Wolf 是一家电子设计服务公司的硬件工程师，也是本书的项目中使用的 Bricktronics 盾板的制作作者。

致 谢

John 的致谢

我想要感谢我的妻子把散落在家中各处的乐高机器人整理起来，并且这本书占据了比我想象还要多的家庭时光，我要感谢她的耐心；我还要感谢我的孩子们 Eileen Arden、Rosemary 和 Jack，他们给予了我无限的热情和支持，感谢 Adam 和 Matthem，他们是很好的合作者以及天赋异禀的工程师，感谢我们的编辑给了我们一次机会，还有我的家人之中的原始作者，我的父亲 Harold Baichtal 和我的祖母 Marion Lillie 激励我自己成为作家。

Matthem 的致谢

我想要感谢我伟大的妻子在这个项目的完成过程中持之以恒的耐心。我需要为自己把家里搞的一团糟而道歉，我保证会很快将其收拾干净的！感谢我的兄弟 Jeremy，他和我共度了数千个小时来制作和设计乐高机器人。感谢我的父母提供了大量的积木。非常感谢我的共同作者 John 和 Adam 付出的辛勤工作和奉献。

Adam 的致谢

这个项目是非常好的。它既有趣，也扩展到覆盖整个可用空间。我想要感谢我的妻子，她非常理解我。我希望你不会踩到乐高机器人上面。我想要感谢 John 四处拖拉着笨重的积木神奇地从其中变出模型和一步步的图示。我想要感谢 Matthem。与优秀的技术人员一起共事是非常愉快的。我想要感谢 Dike、Wayne 和所有其他 KiCad 研发人员制作出这么出色的开源电子设计自动化套装。我想要感谢 Duft Punk，他们做出了非常棒的创战纪电影配乐。我想要感谢整个开源硬件社区以及 Arduino 团队。最后，我想要感谢乐高集团把所有这一切灵感浓缩在他们注塑成型的塑料部件之中。

目 录

引言	1	第 5 章 项目：巧克力牛奶机	58
第 1 章 项目：绘画机器人	4	5.1 部件列表	59
1.1 部件列表	5	5.2 组装说明	61
1.2 组装说明	7	5.3 为机器人编程	78
1.3 为机器人编程	17	5.4 下一章内容	83
1.4 下一章内容	20	第 6 章 基本电子学理论	84
第 2 章 乐高机器人的结构	21	6.1 电子学中的基本概念	85
2.1 乐高机器人	22	6.2 了解电子部件	88
2.2 乐高机器人系列的扩展	26	6.3 传感器指南	90
2.3 为积木编程	29	6.4 进一步学习	93
2.4 下一章内容	30	第 7 章 项目：机械臂机器人	94
第 3 章 Arduino 小插曲	31	7.1 部件列表	95
3.1 Arduino 项目的历史	32	7.2 制作说明	97
3.2 开源硬件	32	7.3 组装机械臂机器人的电子部件	118
3.3 Arduino 生态系统	35	7.4 为机械臂机器人编程	118
3.4 Arduino 资源	38	7.5 下一章内容	126
3.5 下一章内容	42	第 8 章 项目：键盘吉他	127
第 4 章 项目：时钟	43	8.1 部件列表	128
4.1 部件列表	44	8.2 组装说明	130
4.2 组装说明	46	8.3 为键盘吉他编程	144
4.3 为机器人编程	55	8.4 演奏一些音乐	147
4.4 设置时钟	57	8.5 下一章内容	147
4.5 下一章内容	57		

第 9 章 项目：台灯 148

- 9.1 部件列表..... 149
- 9.2 组装说明..... 151
- 9.3 为台灯编程..... 171
- 9.4 下一章内容..... 175

第 10 章 高级技巧 176

- 10.1 为 Bricktronics 等效设备进行
布线 177

- 10.2 在乐高上面安装印制电路板.. 179
- 10.3 向乐高线路上面添加 Molex
接口 180
- 10.4 有关电动机的一切 180
- 10.5 为你的机器人供电 182
- 10.6 乐高下一代机器人与 Arduino
之间的通信 184
- 10.7 无线通信模块 187
- 10.8 结束语..... 188

引言

在经典的《剑与魔法》电影之中，主人公蛮王科南被问到“生活之中最好的是什么？”他的回答是：“打击你的敌人，看到他们受到你的驱使，并且听到他们女人的悲叹。”

错了，科南，你是错的。

首先，打击敌人并且让其他人为其悲叹是非常不好的。不，科南，生活之中最好的事情是拥有你的蛋糕，并且吃掉它。蛮王，为什么你能够使用 Arduino 但是不能把它集成到你的乐高下一代机器人项目之中呢？

如果你不知道，那么 Arduino 现象很可能是震撼业余电子场景之中最为炫酷的东西了。这使得为你自己的微控制器进行编程变得非常容易。你可能没有意识到乐高下一代机器人现象会使得制作你自己的机器人变得非常容易。

本书是专门为了把二者结合起来而写的。

本章内容：

- 本书做出的假设
 - 本书的内容
 - 印刷和体例
 - 代码引用事项
-

本书做出的假设

这本书的起点是非常低的，前面两个项目是相对比较简单的，并且适用于所有技能水平。也就是说，你可能会发现在后面章节之中的某些话题是相当有挑战性的。不要担心！为了制作不同项目，所需要的全部内容会有清晰的解释；大部分非常困难的内容都有足够的信息说明。

此外，我们会在设计本书的机器人过程中积极使用我们的扩展乐高机器人系列。如果你只有一个普通的系列（至少你想要乐高下一代机器人 2.0 系列），那么你确实需要购买更多的部件才能够制作这些项目。

本书的内容

我们这本书涉及了各种各样的话题。主要包括以下内容：

第 1 章利用绘画机器人项目向读者介绍了乐高和 Arduino 的神秘世界。这是一个非常简单的项目，它制作的是一个能够用笔画出形状的机器人。它会帮助你学习使用 Arduino 控制乐高下一代机器人的秘密。我们还会介绍 Bricktronics 盾板，作为乐高和 Arduino 之间的接口，它是 Arduino 的附加组件。

第 2 章中我们会复习我们的乐高技术，学习乐高下一代机器人系列以及兼容产品线，例如乐高科技系列和乐高强大功能系列。

第 3 章涉及的是这个平衡两端的另外一侧：学习 Arduino 及其附加组件板，称为盾板。

我们的第 2 个项目——时钟，开始于第 4 章，并且将会告诉我们如何使用乐高机器人电动机精确控制时钟的指针。

第 5 章会细致地介绍本书最复杂的机器人之一，它是一个巧克力牛奶制作机，把牛奶和巧克力汁倒入杯子中，并且使用电动机驱动的勺子进行搅拌。

我们将会在第 6 章学习到电子学的更多神秘内容，发现电流的工作原理，了解所有这些部件的作用，以

及如何使用电子爱好者的主要诊断工具——万用表。

第 7 章会处理另外一个复杂的机器人——夹子机器人：它是一个有轮子的操作器，它拥有一对装备了 Arduino 的腕带和 Wii 双截棍控制器。

第 8 章向你展示了如何制作一个炫酷的电子乐器，键盘吉他。它是一个拥有按钮和旋钮的乐高吉他，能够制作出各种各样的电子噪声！

对于最后一个项目，第 9 章会描述我们的台灯项目，它专注于智能手机控制的乐高台灯固定装置的制作。

这本书的最后一章是第 10 章，我们会在其中涉及一系列高级电子学内容，例如选择电动机和电源，以及如何制作我们的 Bricktronics 盾板的面包板版本。

祝你好运，玩得开心！

印刷和体例

乐高计算机辅助设计惯例

在本书通篇说明乐高机器人的制作步骤时，我们会把每一步骤添加的部件进行着色，这样就可以把它们与之前步骤之中添加的部件区分开来。寻找亮绿色（见图 0-1）以查看在这一步骤之中添加的全新部件。



图 0-1

为了查看在每一步骤之中添加了哪些新部件，寻找亮绿色的部件就可以了

代码引用事项

这本书是为了帮助你完成任务的。一般来说，你可能会在你的程序和文档之中使用这本书之中的代码。你不需要联系我们获得允许，除非你复制了很大的一部分代码。例如，在编写程序的时候使用了这本书之中的若干段代码不需要获得允许。销售或分发来自做到系列丛书之中的例子光盘版当然需

要获得允许。通过引用这本书并且标注示例代码回答问题并不需要获得允许。但从这本书中摘取很大一部分示例代码写到你的产品说明文档之中当然需要获得允许。

我们非常欣赏添加引用来源，但是并不强制这样做。引用来源通常包括书名、作者、出版社和书号。

01

Chapter

项目：绘画机器人

本书第 1 个项目是制作一个绘画机器人（见图 1-1），它是一个尾部拥有记号笔的小型机器人，当它四处走动的时候会在路径上面留下一条痕迹。本章将会对这个机器人进行编程，让它遇到障碍的时候会转弯并且尝试另外一条路径，让它即使在撞击到障碍之后也能够继续绘画。

本章将会采用一种创作艺术的非常基本的方法。事实上，本章会对机器人进行编程，使它能够对来自自己的触摸传感器的输入进行响应，产生一系列圆形、弧形和螺旋线（见图 1-2）。

下面是它的工作原理。当首次推动保险杠时，每个电动机都会分配一个随机的速度，这个速度介于 -255（全速后退）~ 255（全速前进）之间。还需要分配一个随机的超时时间，介于 1 ~ 10 秒之间。如果保险杠撞到什么地方，那么分配给这两个电动机的速度将会反转，并且稍有减速。如果电动机的运行速度已经非常慢，或者超时时间用尽，那么将会为每个电动机分配一个全新的随机速度，还有一个全新的随机超时时间。艺术难道不炫酷吗？

本章内容：

- 部件列表
 - 组装说明
 - 为机器人编程
 - 下一章内容
-

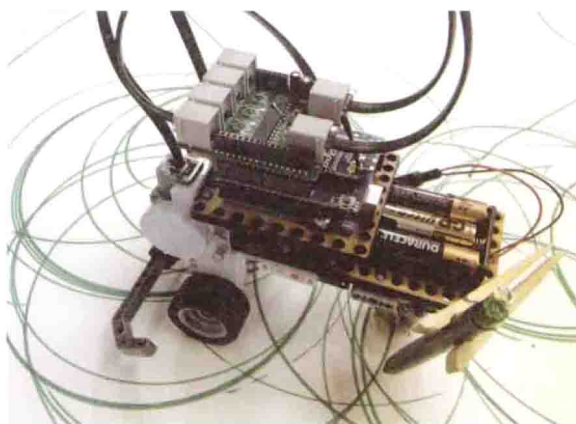


图 1-1

绘画机器人由一个小型带有轮子的机器人组成，它可以在四处走动的时候进行绘画

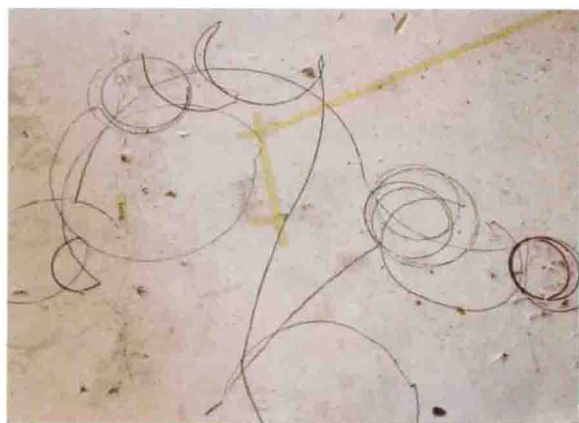


图 1-2

机器人创作的艺术

1.1 部件列表

尽管绘画机器人并不像其他形式的机器人那么复杂，但是它仍然需要把很多细小的部件集合到小型封装之中。请浏览一下以下内容，看看为了制作这个机器人都需要哪些部件。

1.1.1 工具和电子设备

- Arduino Uno

- Bricktronics 盾板（见图 1-3 以及“介绍 Bricktronics”的相关内容）
- 若干个 #2 的 0.25 英寸木制螺丝（1 英寸 $\approx 0.025\text{m}$ ）
- 2.1mm 直流插孔（我们使用来自 Digi-Key 公司的 CP3-1000-ND 型号直流插孔）
- 电池组（我们使用 Mouser 公司的 P/N 12BH361A-6R 型号电池组）
- Bricktronics 安装盘（查看“连接 Arduino & 电池组”侧边栏）
- 具有弹簧的标准木制型号衣夹
- 记号笔
- 具有垫圈和螺母的 8-32，1.5 英寸机械螺丝

介绍 Bricktronics

Bricktronics 是什么呢？当我们三个人着手写这本书的时候，我们立刻意识到我们在 Arduino 和乐高机器人电动机以及传感器之间需要一定的接口。早期的时候我们试验过使用面包板搭建一个小型的接口电路，并且搞清楚如何在乐高机器人线路的两端添加兼容 Arduino 的插孔，但是最终我们认为制作我们自己的盾板更有意义。结果就产生了 Bricktronics 盾板！

这个盾板让你可以控制多达 4 个传感器、两个乐高机器人电动机以及诸如强大功能电动机等额外部件。这并不是为了把下一代乐高机器人打得落花流水，而是让你使用熟悉的 Arduino 环境和下一代机器人电动机和传感器。当我们在本书通篇使用 Bricktronics 盾板的时候，你会了解到它的功能，而且我们认为你会对于它的功能感到非常兴奋！

如果这还不够，那么我们也设计了 Bricktronics 电动机控制器（它会在第 7 章中出现），这一电动机控制器能够让你控制多达 5 个乐高机器人电动机和额外的强大功能电动机。它是非常炫酷而强大的！

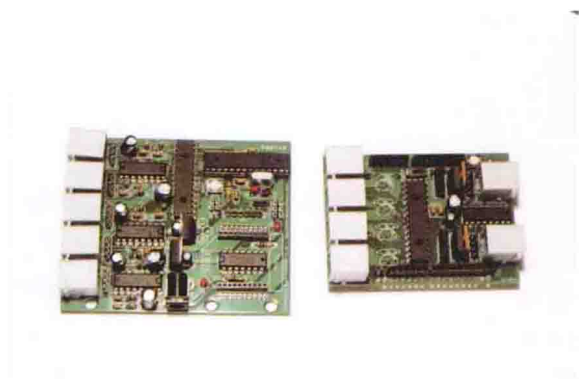


图 1-3

Bricktronics 盾板（右侧的线路板）是把乐高和 Arduino 技术结合起来的方法。Bricktronics 电动机控制器（左侧的线路板）帮助你控制不同的电动机

1.1.2 乐高部件

我们可以使用以下的乐高部件（见图 1-4）制作绘画机器人。把需要的元素收集在一起，并且按照本章后面提供的说明制作一个机器人。

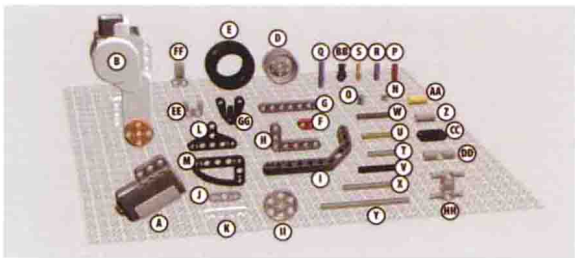


图 1-4

这些是你在制作你的绘画机器人的时候需要的部件

我们花费了几个月的时间研发了这些型号，我们在测试的时候对它们进行了修正和修改。我们对此感到非常骄傲，而且它们确实有很好的性能。然而，它们只是我们每个项目之中许多有效的设计方案之一！你可以随意进行调整，看看这些调整对于项目的改变有什么影响吧。

A. 触摸传感器

B. 两个交互伺服电动机

C. 3 条机器人导线（在图 1-4 中未给出）

D. 2 个边框

E. 2 个轮胎

F. 1 个 2M Technic 柱 *

G. 2 个 7M Technic 柱

H. 4 个 Technic 角柱 3 × 5

I. 2 个双角柱 3 × 7

J. 2 个 Technic 杠杆 3M*

K. 4 个 Technic 杠杆 4M*

L. 2 个 Technic 三角板 *

M. 2 个半柱弧 3 × 5*

N. 18 个半轴衬

O. 9 个轴瓦

P. 5 个 2M 十字轴（红色）

Q. 3 个接口桩 3M（蓝色）

R. 12 个交叉接口桩（蓝色）

S. 1 个无摩擦标记交叉接口桩（米黄色）

T. 3 个 3M 十字轴

U. 6 个 3M 有旋钮十字轴

V. 5 个 4M 十字轴

W. 2 个 4M 有止端十字轴 *

X. 6 个 5M 十字轴

Y. 1 个 8M 十字轴 *

Z. 2 个套管 *

AA. 2 个十字轴延展器

BB. 1 个有跨孔拉手

CC. 7 个双十字方连 *

DD. 4 个 180° 角元件

EE. 1 个 Technic 十字方连叉

FF. 1个 2×3 十字方连

GG. 1个 3×3 连接板 *

HH. 2个 3M 有模 Technic 柱

II. 2个皮带轮 *

标注有星号“*”的部件未在乐高下一代机器人 2.0 之中找到，或者是并未包含在列出的数量之中。也许你注意到在乐高系列之中的数量与它们的官方数值不同，这是由于排样误差造成的。

非标准部件的来源

不幸的是，乐高机器人的盒子只包含非常普通的部件系列，特别是考虑到乐高巨大的产品线更是如此。在制作这个型号的时候，我们努力使得你需要购买的额外部件列表尽可能简短。如果你拥有小型的乐高系列（我们假设至少拥有乐高机器人系列）你就可以参考下面的列表找到未包含在内的部件。

注意到我们会链接到 Peeron，这是一个专用于跟踪乐高的巨大部件目录的第三方网站。每个页面都包含提供这一部件的商家列表。这是一个非常不错的资源！

- 1个 Technic 2M 柱 P/N 43857 <http://peeron.com/inv/parts/43857>
- 2个 Technic 杠杆 3M P/N 6632 <http://peeron.com/inv/parts/6632>
- 4个 Technic 杠杆 4M P/N 32449 <http://peeron.com/inv/parts/32449>
- 2个 Technic 三角板 P/N 2905 <http://peeron.com/inv/parts/2905>
- 2个 double 十字方连 P/N 32184 <http://peeron.com/inv/parts/32184>
- 2个半柱弯曲 3×5 P/N 32250 <http://peeron.com/inv/parts/32250>
- 2个套管 P/N 62462 <http://peeron.com/inv/parts/62462>

- 1个 8M 十字轴 P/N 3707 <http://peeron.com/inv/parts/3707>
- 1个 4M Technic 有止端十字轴 P/N 87083 <http://peeron.com/inv/parts/87083>
- 1个 3×3 接口插头块 P/N 111 <http://peeron.com/inv/parts/111>
- 2个皮带轮 P/N 4185 <http://peeron.com/inv/parts/4185>

或者你也可以选择购买我们的 Bricktronics 终极工具箱，它包含以上所有部件，所以你就不需要自己寻找它们的来源了！

1.2 组装说明

尽管机器人本身是相对比较小的，但是它的制作可能会有一点复杂。然而，下面的说明将会指导你完成这些步骤。

1.2.1 制作乐高机器人

让我们处理绘画机器人的乐高底座吧！这是一个非常有趣的小型机器人，它有3个轮子和一个非常大的平台，用于承载电池组、Arduino 和 Bricktronics 盾板。

1. 让我们首先处理保险杠的组装。把一个角元件连接到三角形的 3×3 块上面（见图 1-5）。



图 1-5

第1步：保险杠组装

2. 把这两个红色的 2M 十字轴之一滑入块中。
图 1-6 给出了它的目标位置。



图 1-6

第 2 步：继续处理保险杠

3. 向保险杠组装结构中添加一个三角形的板，
由底部的两个 2M 轴固定住（见图 1-7）。



图 1-7

第 3 步：添加一个三角形的板

4. 添加另外两个 2M 十字轴（见图 1-8）。



图 1-8

第 4 步：再添加十字轴

5. 添加角柱（见图 1-9）；它们会作为保

杠起作用的一端！

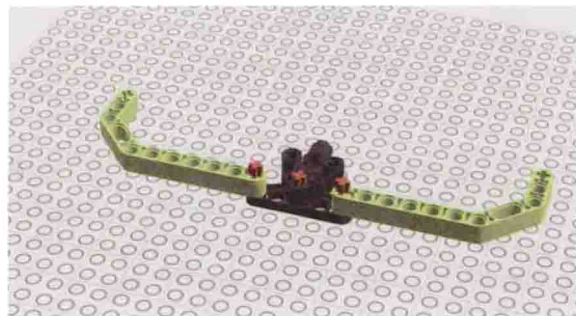


图 1-9

第 5 步：完成前保险杠

6. 在顶端添加另外一个三角板固定住不同的
元件（见图 1-10）。

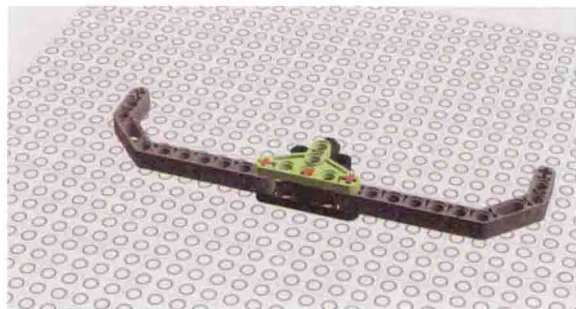


图 1-10

第 6 步：完成

7. 把一个 3M 十字轴滑动（通过三角板的顶
端孔洞），为半轴衬在顶端和底端留有足够的空间。
图 1-11 给出了排布方案。

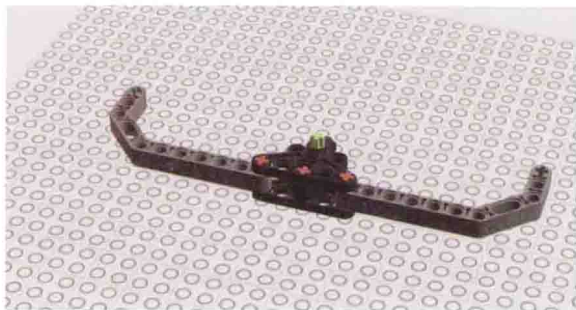


图 1-11

第 7 步：插入一个十字轴，两端都稍微穿出一些

8. 添加半轴衬, 如图 1-12 所示。保险杠组合完成了!

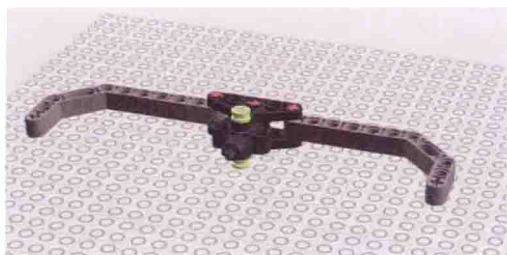


图 1-12

第 8 步：完成保险杠

9. 接下来, 让我们开始处理绘画机器人的电动机。把两个 5M 轴滑动通过电动机的孔洞, 在你这样做的时候把一个 L 形柱握好 (见图 1-13)。

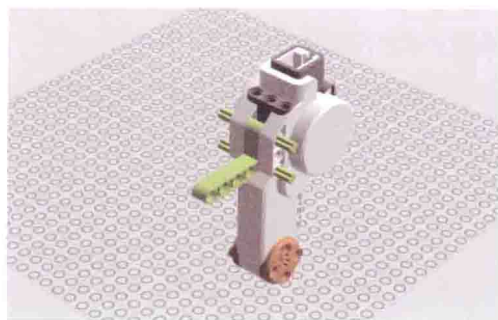


图 1-13

第 9 步：连接 5M 轴和 L 形柱

10. 添加两个十字轴延展器 (见图 1-14)。



图 1-14

第 10 步：添加延展器

11. 把两个 5M 柱连接到延展器上面 (见图 1-15)。

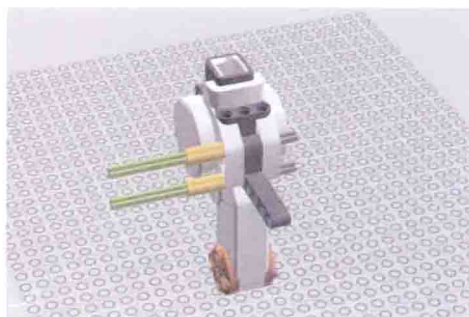


图 1-15

第 11 步：延展十字轴

12. 接下来, 在电动机上面添加一个有桩 3M 柱 (见图 1-16)。

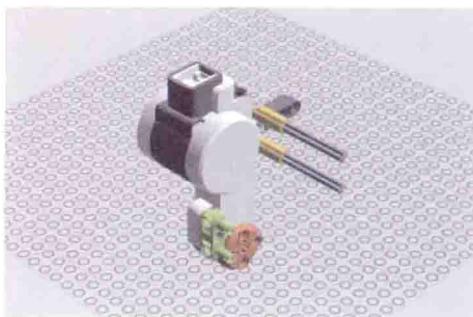


图 1-16

第 12 步：连接 3M 柱

13. 然后, 添加一些套管 (见图 1-17)。

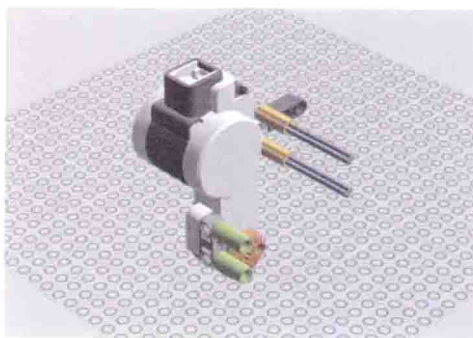


图 1-17

第 13 步：添加一些套管