

科学鬼才

仿生学电子电路
设计与应用

25 例 (图例版)

BIONICS FOR THE EVIL GENIUS



[巴西] Newton C. Braga 著 万皓 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

科学鬼才

仿生学电子电路 设计与应用

25例 (图例版)

[巴西] Newton C. Braga 著 万皓 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

仿生学电子电路设计与应用25例：图例版 / (巴)
牛顿·C. 布拉高 (Newton C. Braga) 著；万皓译. --
北京：人民邮电出版社，2017.3
(科学鬼才)
ISBN 978-7-115-44696-1

I. ①仿… II. ①牛… ②万… III. ①仿生—普及读
物②电子电路—电路设计—普及读物 IV. ①Q811-49
②TN702-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第320038号

版权声明

Newton C. Braga

Bionics for the Evil Genius: 25 Build-it-Yourself Projects

0-07-145925-1

Copyright ©2006 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and People's Military Medical Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright ©2017 by McGraw-Hill Education and Posts & Telecom Press.

Copies of this book sold without a McGraw-Hill Education sticker on the cover are unauthorized and illegal.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和人民邮电出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。版权©2017 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与人民邮电出版社所有。本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。

-
- ◆ 著 [巴西] Newton C. Braga
 - 译 万 皓
 - 责任编辑 马 涵
 - 责任印制 周昇亮
 - ◆ 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>
 - 北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本：880×1230 1/16
 - 印张：10.25 2017年3月第1版
 - 字数：358千字 2017年3月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字：01-2016-5093 号

定价：59.00 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：京东工商广字第8052号



内容提要

本书通过25个有趣、超酷、应用广泛、造价低廉的仿生学项目，包括电鱼、蝙蝠耳、测谎仪、电子神经激励器、恐慌发生器、电子驱虫器、音频和视觉生物反馈等，生动详尽地解释了生物学、电子学与机械学方面的基本知识，并手把手教会你设计和制作仿生学电子电路所需要的实际技能，包括如何焊接、电子元器件选择、读懂电路原理图和电路设计等知识。本书不仅带给你无限乐趣，还能使你从一个电子学菜鸟迅速成长为科学鬼才！该书可作为仿生电子学爱好者和高中、大学电子线路课程的指导教材。

关于作者

ABOUT AUTHOR

Braga先生 1946年出生在巴西圣保罗市，年仅13岁时，就在电子工程学领域初露锋芒，并已经开始在巴西国内的期刊上发表专业文章。18岁时，巴西版的《大众电子学》杂志就已经为他开设了专栏，从此，他开始引入“青少年电子工程学”的概念。

1976年，他成为了南美最重要的电子工程学杂志《电子学习杂志》（在当时，该杂志同时出版于巴西、阿根廷、哥伦比亚和墨西哥）的技术总监。同时，他也担当Editora Saber出版社发行的其他杂志《电子工程总论》杂志的技术总监，以及*Mecatronica Faicl*、*Mecatronica Atual*和*PC & CIA*杂志的技术顾问。

在这段时间里，Braga先生出版了100多部涉及电子工程学、机械电子学、计算机技术、电力等方面的著作，并在世界多个国家（其中包括美国、法国、西班牙、日本、葡萄牙、墨西哥和阿根廷）的学术杂志上发表了几千篇论文和电子工程学、机械电子学的研究专案。他的许多著作都被推荐为全世界各个专业学校和高校的教材。他的著作被翻译成多国文字，在全世界销量超过三百万本。

作者目前在Colegio Mater Amabilis执教，讲授机电一体化科目，并担任远程教育组织的顾问，并在他的祖国巴西致力于各项教育项目。这些项目包括在高中给青少年讲授电子学、仿生学和机电一体化学科导论，并为需要加深电子学、机械电子学、仿生学和技术领域系统知识的工作者和教师提供职业培训。Braga先生现在与妻子及其16岁的儿子居住在瓜鲁柳斯（靠近巴西圣保罗市）。



关于译者

ABOUT AUTHOR

万皓

国家新闻出版广电总局无线局工程师、英语翻译，翻译经验丰富，擅长射频设备、电子、通信、人文社科、中医、生物科技、法律法规等内容的中英互译工作。

前言

PREFACE

本书适用于任何从事与生物电子技术相关项目的读者。本书虽不敢自诩为科学鬼才进行仿生学电子电路设计最完备的资料，但是，一定能够提供种类丰富、实用的工程技术应用内容和方法，这是其他同类书籍无法比拟的。

25年以来，该书作者作为美国、欧洲和拉丁美洲各类电子学和机械电子学杂志的作者，出版发行了大量实际电路专业书籍和文章。其中有许多工程项目将生物学与电子技术联系起来，这意味着这些项目可以被分类为仿生学这一科学分支。许多仿生学想法和项目都包含在本书中，读者可以使用常用的工具和元件搭建这些仿生学项目。

这些仿生学项目从实验类型到实用类型直到娱乐类型都有。当然，很多其他电子器件也能够用来教会你一些仿生学这门奇幻科学的知识。而本书的目的不仅能帮助科学鬼才们搭建仿生装置的窍门和技术，而且还提供想法和完整的仿生学项目，让鬼才们可以使用低成本和容易找到的零件来轻松搭建仿生装置。

科学鬼才的仿生学这本书适用于想要在项目中应用新点子的初级、中级及高级电路设计者，也适用于想要在学校传授技术应用并帮助学生确定职业的教育工作者。当然，本书最重要的读者依然是科学鬼才们，他们可以充分利用想象力、技能以及从老旧设备和家用电器上拆卸的零件或是从兄弟姐妹那“抢来”的玩具，或者在当地电子元件零售商那购买的零件来制作出不可思议的作品。

如果你认为不可能用简单的材料和技术制作出许多有趣的玩意儿的话，那你就大错特错了。你可以使用三类技术方法来制作电子和机电一体化项目。

最简单或者说传统的技术是依靠诸如电动机、电池和无源元件等电子零部件来制作项目。这种技术简单到连小学生都能领会。运用这种传统而简单的技术，再加上你的想象力和技能就能制作一些有趣的项目。

中级技术使用的是比传统物理技术所运用的无源元件更高级的电子元件。这类电子项目所使用的元件包含诸如半导体（二极管、三极管、晶闸管整流器和发光二极管等）和集成电路，与使用微处理器、超大规模集成电路和数字信号处理器等电子元件的第三类技术的项目相比，就算比较初级了。

中间技术的最大优点是所有人都能够轻松运用。三极管、电阻、二极管等离散元件无

需特殊工具就能轻松地使用。使用这些元件的同时，能帮助发掘源于个人天资的职业技能和才能。既然你不需要特殊工具处理这些器件，而它们也不会轻易地被缺乏经验的科学鬼才鼓捣坏，那么很容易就能使用本文所描述的方法来制作任何项目。

本书最重要的一点是读者可以制作或者设计只有在电影、电视或者科幻杂志中看到的新奇玩意儿。读者可以使用低成本零件和简单的技术探索设计这些仿生学项目的本质。他或她（男性或女性读者）可以制作鱼类或植物器件，或者可以跟你在探索频道的电视剧里所描述的一样的方式与自己身体的一部分或其他生物互动。

你能够完成所有内容，而且，我们打算通过本书提供你一些必须的工具、想法和技能。你只需要利用你的技能和运用只有真正的科学鬼才才有的想象力来完成这些项目。

本书分为四个部分。本书第一部分和第二部分将会解释什么是仿生学并介绍一些仿生学的基本概念。本书将会对读者传授需要用来玩转电子器件的知识，尤其是运用于生物体中的仿生学知识，也会对运用于工程项目中的技术知识进行解读。

本书也会为教育工作者提供一定的教学空间，让他们可以通过与学生一起制作工程项目和实验来传授知识。教育工作者在使用这些项目作为学生科学课程中的跨课程主题时会发现本书提供的很多仿生学项目很容易和中学或高中科学课程紧密联系。

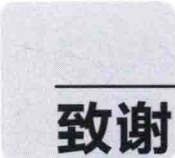
本书第三部分将会详述这些仿生学电子电路应用项目。本书从作者收藏的大量文件资料中精选25例仿生学电子线路应用项目，许多又经过了特别处理和更改以飨读者。

每一个仿生学项目都独立完整，自成体系，它包含所有制作和安装电路所必须的信息，这些仿生电路可以作为一个完整装置独立应用于各类仿生实验和项目中。这些仿生学电子应用项目会向读者简述仿生实验项目产生的主要结果。紧随其后，读者会发现诸如仿生电路具体的工作原理和电路的制作与安装，以及完备的元器件清单等信息。

在仿生学项目制作过程中，本书还会提供许多额外的衍生项目和应用创意，用于改进或改变基本的仿生学项目、制作衍生项目或是基于同样的原理制作新的项目。对于那些想要探索或设计更高级的仿生实验或者仿生装置的读者，本书无疑是理想选择。本书提供的完整的衍生仿生项目和实验应用电路将实际仿生学项目增加至100多个。在一些项目中，提供给教育工作者的应用创意和完成每一个项目所需的额外信息将会被充分讨论，这些应用创意可以作为学生科学课上的跨课程主题项目予以讨论。基于以上原因，本书也可以说是一部仿生学电子应用项目的大型工具书，它能让读者学到更多关于该技术的知识。

我们希望读者们和未来的科学鬼才们在接触到本书提供的创意和想法时，能够眼前一亮，才思涌现。

Newton C. Braga



致谢

ACKNOWLEDGMENTS

感谢帮助出版此书的所有人。

感谢我的图书代理人 Jeff Eckert 帮助我处理此书出版过程中的所有纷繁程序。

感谢在 Colegio Mater Amabilis 执教的生物学教师及我的良师益友 Carman Regina Silvestre。作为仿生学领域的一名专家，她帮助我处理了许多仿生学领域的信息。

感谢 Carlos Eduardo Portela Godoy 和 Marcelo Portela Godoy，当我在巴西 Guarulhos Colegio Mater Amabilis 与学生们一起工作时，他们给予我支持，在学生之中挖掘了许多有天赋的鬼才，并让我无偿使用实验室资源，测试本书所介绍的所有实验项目。

感谢 Helio Fittipaldi 允许我使用在 *Mecatronica Facil* 杂志和 *Eletronica Total* 杂志中发表的文章中的许多插图和照片。

感谢我伟大的朋友 Edson de Santis，提供本书介绍的仿生学项目中所需要的许多元件。

感谢我的妻子 Neuza 和我的儿子 Marcelo 一直以来对我的工作和努力所给予的支持。

Newton C. Braga

目录

CONTENTS

第一部分 引言 1

第二部分 生物学和电子技术 5

第三部分 25个仿生学实用项目 13

14	项目1——电鱼实验
26	项目2——视觉生物反馈
35	项目3——音频生物反馈
41	项目4——神经刺激器
47	项目5——频闪灯
53	项目6——生物信号放大器
59	项目7——恐慌发生器
68	项目8——磁场发生器
75	项目9——催眠发光二极管
80	项目10——驱虫器
85	项目11——仿生陷阱
90	项目12——动物训练器
96	项目13——白噪声发生器
101	项目14——仿生耳
105	项目15——灭虫器
109	项目16——仿生触器
113	项目17——测谎仪
118	项目18——仿生气味发生器
122	项目19——使用振荡器进行仿生学实验
125	项目20——离子发生器
130	项目21——触觉助听器

134	项目 22——万用表在仿生学中的应用
138	项目 23——仿生视觉
144	项目 24——生态监视器
148	项目 25——蝙蝠耳

第四部分 附加说明 153

第一部分

引言

Chapter 1

大千世界中人们会碰到大量生物学问题，但是在我们的世界中，人们总能找到一些绝妙的高性能解决方案来处理这些问题。这些解决方案是通过过去30亿年在地球上发生生命进化所形成的自然选择的结果而获得的。地球上生物系统的完美运作和结构组织都源于指导并控制着所有生命体功能的具体法则和定律。

所有参与生物进化或者影响生命体形成的法则中最为重要的是最优设计原则，即ODP。它不能通过公式或者理论来表达，但它却能被认为是有效的，这是因为不管是从分子水平还是到复杂的人类个体来看，它的存在都能在许多生物体的组织结构中得到验证。

最优设计原则是达尔文生命进化论中基本概念的方法论成果：适者生存和自然选择。根据达尔文的进化论，生命体一直在以一种方式改变自身结构，而在这种方式下，生命体的每一代都会有变异产生。变异体替换其他个体，并且根据某些具体标准，有些变异体更适应于环境。这些标准包括最佳生存性能，考虑维持生命的（新陈代谢的）能量消耗、繁殖力（生殖力），以及机能运转（新陈代谢）。这意味着在我们所处时代的大部分生命体的最佳生存性能都是几十亿年进化的结果。科学家们相信在物竞天择，适者生存的世界里，所有生命体都有能力来不断优化自己。

那么为什么不利用在自然界发现的和在生命体中观察到的这些特性来帮助我们改进人类的科技呢？这也正是仿生学和其他被称为仿生学分支的生物机械电子学科学的目标。仿生学可以被定义为一门运用生物进化成果的科学。

当然，虽然自然选择的结果并不一直是技术设计师（甚至在建筑和机械等其他领域）面临的诸多问题的最佳解决方案的基础，但大部分情况下，自然选择的基础作用的确如此。从之前提到的概念和仿生学的定义，我们能展示仿生学研究者运用的某些方法，将自然界提供的解决方案与我们的科技所创造的方案联系起来。

你可以通过3种方式将自然界提供的解决方案与科技联系起来，如图1.1所示。第一种情况是直接使用仿生学定义中的应用。我们能使用生物进化的成果创造各种人造仿生学器件。通过观察自然界提供的现成解决方案，利用科学技术创造的各种元件和装置来模仿自然界解决方案。

例如，蝙蝠和海豚天生具有的声纳探测能力就为制造能够探测水下，甚至天空中的物体的装置提供了依据。通过观察研究人体肌肉的工作原理，我们设计和开发了义肢和形状记忆合金。

第二种方式是通过将科技与仿生学有机结合，如图1.1所示。将科技设计制作的特殊功能与自然界直接联系起来，如将生命体与人造装置连接起来。

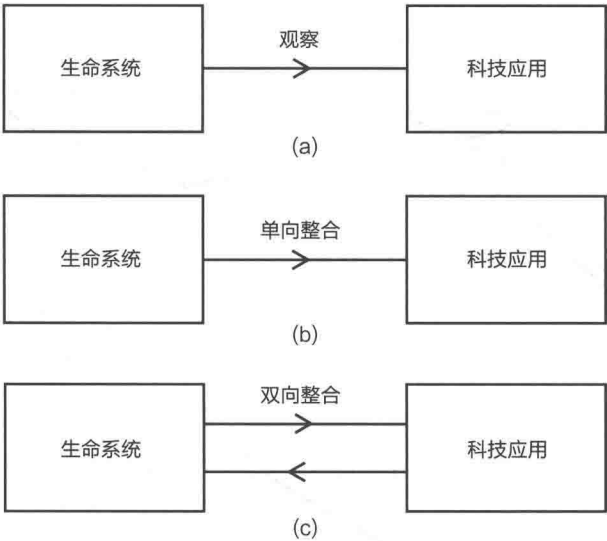


图1.1 仿生学联系生命体与科技

例如，根据环境污染水平产生频率变化信号的电子鱼，可作为传感器直接与实际电子线路相连，也可作为极敏感传感器用来监测水源纯净度。一株作为传感器使用的植物可以直接与电子线路连接来监测大气氧气浓度，监测

光或者发生地震灾害的可能性。甚至人也可以直接与电子线路连接来监测在测定条件下受测试者的压力程度。在这些例子中，生命体结构成为一个更为复杂的装置的部件，执行人造器件无法完成的任务，所有这些过程都被归结为

仿生学的内容。

最后，生命体可以被用来向电路发送信号，用作传感器并同时接收信号控制生命体执行一定任务。生命体作为一个更复杂的装置的一部分，不仅同时作为传感器收测信号，也可以作为激励器执行任务。

当我们描述生物反馈时，实际指的就是这种类型的仿生学应用。人体连接电极产生信号时，再由电路处理人体发送的信息。电路发给人体反馈信息，命令某种激励器与人体互动。这种例子不胜枚举，比如一盏可以改变闪烁

频率的台灯，或者一台可以改变音调的振荡器，按照人眼或人耳来动作并控制某种活动。由植物叶子的电阻控制的频闪灯就是另一个第三类仿生学应用的例子。

本书中描述的实际设计项目可以被归入三大仿生学种类其中的一种。读者会发现这些设计项目可以作为一个完整装置或电路独自工作，或者可以直接插入到其他应用或者装置中使用。另外，对于想要研究仿生学以外内容的读者，这些基本设计项目也可以提供许多其他有用的电子线路知识。

第二部分

生物学和电子技术

Chapter 2

电子技术和生物学有许多共同点，这是因为当电子线路和生命体工作时会有电流流过线路或生命体内。生命体在微小电流作用下就能运动。这种仅仅只有几毫安大小的电流通过细胞膜，刺激神经细胞和肌肉细胞动作，并执行其他对机体代谢重要的任务。电子线路工作时，工作电流量程较大，从（工作电流）只需要几毫安电流驱动的微处理器或者低信号晶体管到需要数安培大小驱动的大功率半导体器件如晶闸管整流器，电力金属氧化物半导体场效应管，绝缘门双极性晶体管和三端双向晶闸管元件。

要达到此目的要点是有可能以一种方式将生命体与电子线路有效连接，让他们和谐统一地工作。今天我们在全世界观察发现研究人员已经开始将生物学与电子技术结合起来了，结果引起了如仿生学、分子电子学、人工智能、生物物理学、生物机械电子学和许多其他科学的兴起。生物学与电子技术的协同作用可以产生很多新的产品，本书将列举一些新产品的实际例子。

尽管我们认为生物学与电子技术的融合有着巨大的潜力，但是我们还是需要小心谨慎。在电子技术和生物学之间有收敛性存在，因为这两个技术都可以在相同的规模内工作。仿生学仅仅是生物学与电子技术结合的产物。正如我们在引言中所看到的，自然与科技可以以三种方式结合起来。

对于读者而言，本书中我们将会提供并讨论仿生学应用的许多电子技术解决方案，能考虑到这一点十分重要。因为我们不是生物学家，实际项目中的生物科学方面将会处理得不如读者想要的深入，我们鼓励读者根据个人兴趣深挖探索，可以通过互联网、书籍、杂志和许多其他资源去探索所需的其他信息。

当把电子线路和生命体连接在一起实验时，特别是当生命体是活生生的人体的时候，我们也必须要考虑到安全的重要性。你或许并不期望在仿生学装置的实验中会要求一些特殊的保护，诸如 Asimov 的“机器人定律”以防机器人或者其他仿生装置与人类相互影响。尽管本书中所提到的大部分项目所使用的都是普通元件，但是由于电路设计者相对缺乏经验，将会增加发生事故的可能性。一个简单的仿生学项目可能对你自己或者其他人造成伤害。简单说来，这意味着你不能免于事故发生，例如触碰到高压电路会被电击，或者试着在植物或者其他生物体内植入电极时割伤手。

本书不是针对专业人员而写，而且所有项目中的仿生学知识不涉及职业目标，因此，这些项目都非常简单并且有时只是实验性的项目，但是也要避免发生实验事故，

读者必须严格遵循一些最基本的简单的安全规则。在实验项目中，你的工作会涉及生物，包括人，当然也包括你自己，如果你的实验失控，就很可能造成伤害。

你必须考虑到即便你的实验项目不涉及危险装置，但是，项目中使用的植物、鱼类和其他生命体也是非常脆弱的，即便是只有几毫安的电流流过他们的身体也可能伤害甚至杀死它们。因此，我们相信本书包含一个小章节专门介绍安全知识是非常重要的。

安全规则

仿生学项目中可能发生的事故，如本书中所描述的，通常有以下3种来源：电子、生物和化学事故。

电子技术事故

低功率电路诸如在本书的实验项目中所使用的电路并不是特别危险的，因为可以将这些电路放置在盒子里或者采用低电源电压来进行实验操作。以下是一些需要考虑到的安全措施。

- 保护有高压存在的区域。避免在高压电路中使用金属零件或者金属外壳。
- 不要使用无变压器的电源给电路供电，主要是那些会用在人身上的电路（生物反馈等）。
- 在所有敏感电路中加入保险丝或者过流保护电路以防止发生短路事故。
- 不要将高压电路或者把由交流电源线供电的电路连接到任何人身上。

生物事故

与生命体相连的电路，诸如人体很危险，因为这会改变我们自身对身体的控制。例如，如果不能正确运用生物反馈，则会激发催眠状态或者引起大脑短暂混乱。为避免发生事故，推荐规范如下。

- 不要对在实验中涉及到的生物造成任何损伤。确保生物所需的实验条件能够满足要求。
- 观察项目实验是否对生物或者人体造成不适。如