

基于系统模型的工程设计

系统论述Simulink与Arduino一体化开发方法

清華

开发者书库



*Simulink & Arduino*

Simulink and Low Cost Hardware  
for Mechatronics

# Simulink与低成本硬件 及机电一体化

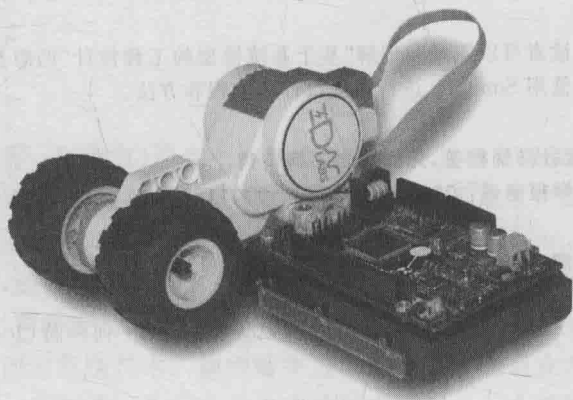
丁亦农 Joshua L. Hurst ©著

清華大學出版社



清华

开发者书库



*Simulink & Arduino*

Simulink and Low Cost Hardware  
for Mechatronics

# Simulink与低成本硬件 及机电一体化

丁亦农 Joshua L. Hurst ©著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书通过在数控平台上设计的一系列的 Simulink 与 Arduino 实验,把机电一体化及数字控制的理论应用于真实环境下的系统设计、测试和验证。有助于更深入地理解工程理论,获得第一手与实际硬件打交道的经验。熟悉在机电一体化和数字控制系统中常用的传感器件和控制算法,如陀螺仪、加速度计、磁力计等,了解它们的工作原理、性能特点和使用注意事项;学习和使用 Arduino 这一在机电一体化及数字控制领域中最常用的低成本硬件平台,了解其特点和适用范围,为采用这一平台进行复杂的机电一体化及数字控制系统的设计打下坚实的基础。

通过学习和使用本书,读者可以熟悉和理解“基于系统模型的工程设计”的思想、方法和工具;通过实际的建模实践,练习并掌握使用 Simulink 进行系统设计的流程和方法。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

Simulink 与低成本硬件及机电一体化/(美)丁亦农,(美)乔舒亚·何斯特(Joshua L. Hurst)著. —北京:清华大学出版社,2017

(清华开发者书库)

ISBN 978-7-302-45458-8

I. ①S… II. ①丁… ②乔… III. ①机电一体化—控制系统 IV. ①TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274721 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:李建庄

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:186mm×240mm 印 张:11

字 数:266 千字

版 次:2017 年 2 月第 1 版

印 次:2017 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:39.00 元

产品编号:060097-01

# 前言

## PREFACE

曾在报纸上看一则消息,谈到中国至今不能生产某些高级模具钢,例如圆珠笔的“圆珠”都需要进口。当然,圆珠需要进口,问题不完全是因为不能生产制造圆珠所需要的钢材。圆珠笔头开口直径不到 0.1mm,例如常见的 0.07mm 和 0.05mm,但要承受各种书写姿势带来的压力和摩擦,还要和圆珠完全贴合,既要书写流畅,又不能漏油。因此,其硬度、开口大小、墨水槽位置必须搭配得天衣无缝。这些涉及模具制造、生产工艺和设备、制造过程中的精密控制等多方面的复杂技术。圆珠需要进口是我国的制造业总体水平与发达国家相比还存在较大差距的一个例子。为什么会出现这种现状呢?一个重要的原因是我们的高级专业技术人才紧缺,这与我们的教育水平、培养人才的质量关系密切。不可否认,中国的教育处在不断改善和发展的过程中,但是在理论联系实际方面仍然做得不够。职业教育水平不够高,学生难以在真环境下学习真本领。由于工作的关系,我有机会访问很多中国的高等工科院校,参观他们的实验室,向老师们了解实验教学的内容和方法。可以说,目前国内高等工科院校,即使是一流的工科院校的大部分的实验教学内容、教学方法、实验的性质和三十多年前我和我的同龄人上大学时的情况没有根本性的变化。同样是由于工作的关系,我经常走访全球性的、引领世界科技和工业进步的企业和大型跨国公司,如波音、苹果、谷歌、通用汽车、华为和三星电子等,亲眼所见和切身体会到过去的 30 年里,从产品的设想、构思,到系统的设计、调试和验证,所采用的方法、流程以及工具都发生了巨大的变化。在校所学与职场所用之间的沟壑一方面使得刚刚毕业的大学生、研究生无法很快地把所学的理论知识应用到工作实践中去,另一方面使得用人单位、公司与企业不得不花费大量的时间和精力对刚走上工作岗位的毕业生进行长时间的培训。显然,努力缩小学与用之间的差距是提高教育质量,改善我国专业技术人才严重紧缺状况的关键途径之一。希望这本书的出版能够为改善这种状况贡献绵薄之力。

本书是一本关于机电一体化及数字控制的案例实验指导书。学习和使用这本书可以达到以下几个目的。

(1) 熟悉和理解“基于系统模型的工程设计”的思想、方法和工具。通过实际的建模实践,练习并掌握使用 Simulink 进行系统设计的流程和方法。

(2) 把机电一体化及数字控制的理论用于真实环境下的系统设计、测试和验证,更深入地理解工程理论,获得第一手与实际硬件打交道的经验。

(3) 熟悉在机电一体化和数字控制系统中常用的传感器件和控制算法,了解它们的工

作原理、性能特点和使用注意事项。

(4) 学习和使用 Arduino(爱绝诺)这一在机电一体化及数字控制领域中最常用的低成本硬件平台,了解其特点和适用范围,为采用这一平台进行复杂的机电一体化及数字控制系统的设计打下坚实的基础。

全书共由 12 章组成。第 1 章介绍低成本硬件的出现和发展过程,以及美国迈斯沃克(MathWorks)公司为低成本硬件平台提供的硬件支持软件包;第 2 章介绍本书讨论的所有实验所采用的机电一体化及数控平台;从第 3 章至第 12 章,每一章介绍一个实验,清晰地说明进行实验的步骤和方法。通过阐明实验目的,提供参考用 Simulink 模型以及实验的示范结果,使读者能够独立自主地领会实验意图并完成实验。这些实验包括:

- (1) 点亮发光二极管。
- (2) 模数传感器与电机编码器数据的读取。
- (3) 通过 I2C 总线读取陀螺仪和加速度计的数据。
- (4) 数字罗盘(指南针)的制作。
- (5) 串行通信基础。
- (6) 蓝牙通信。
- (7) 直流电机的阶梯响应。
- (8) 直流电机控制的基本知识和途径。
- (9) 实际应用环境下直流电机的仿真及速度控制。
- (10) 根据加速度计和陀螺仪确定(实验平台)角度。

本书提供的所有实验均采用以 Arduino 为基础的机电一体化与数控平台。该平台是对 Arduino 平台的补充与扩展,增加了与实现机电一体化、数字控制、及机器人有关的器件和芯片,如陀螺仪、磁力计、加速度计等。通过这些实验,读者可以对该平台有一个比较透彻的了解,熟悉从平台上的各种传感器读取数据的方法,以及如何利用这些传感数据进行系统设计和控制。在这些实验基础上,读者可以充分地发挥自己的想象力,在平台上设计各种其他实验;或者利用该平台构造出各种机电一体化及数控设备;读者还可以以这个平台为蓝本,改变平台的结构,增加更多的机电一体化元器件,如光电传感器、电机、车轮等,从而制造出更加复杂、更加有趣、更加实用的机电一体化及数控产品。

除了书中第 2 章对实验平台的介绍外,读者还可以直接访问南京真大师实验室的网站([www.zdslabs.com](http://www.zdslabs.com))了解更多有关该平台的信息。值得注意的是,这个网站提供了一个用该实验平台在站立式的组合形式下,利用 Simulink 设计和模拟,通过 Simulink Hardware Support Package for Arduino 自动生成执行代码并下载而制作成的平衡车的例子。读者可以发现,这个平衡车与学习和研究自动控制理论时使用的最经典的倒立摆在工作原理、控制算法等方面是完全一样的。

**说明:**本书仿真工具采用英文版 MATLAB/Simulink,故所绘出的插图中的图字为英文。

美国伦斯勒理工学院(Rensselaer Polytechnic Institute, RPI)的教授何斯特博士

(Joshua L. Hurst)为本书介绍的所有实验提供了原始的实验资料,并在其教授的机电一体化课程中使用了这些实验,产生了很好的教学效果。何斯特教授和他的学生们在这些实验的教与学过程中获得的经验和体会、批评和建议为这些实验的成型与完善奠定了基础。在此向何斯特博士致以诚挚的感谢。

作者衷心感谢清华大学出版社的盛东亮编辑,他在本书的构思和编写过程中提供了宝贵的指导性意见和具体的技术性帮助。

丁亦农

Joshua L. Hurst

2017年1月

# 目录

## CONTENTS

<b>第 1 章 Simulink 与低成本硬件开发平台</b> .....	1
1.1 Arduino .....	1
1.2 Raspberry Pi .....	3
1.3 Simulink 低成本硬件支持软件包 .....	4
1.4 关于 Arduino 支持软件包 .....	6
<b>第 2 章 基于 Arduino 的机电一体化实验平台</b> .....	8
2.1 机电一体化平台的开发环境 .....	8
2.2 机电一体化平台的组成和组合形式 .....	9
2.3 机电一体化平台的硬件配置 .....	10
2.3.1 平台的主板 .....	10
2.3.2 直流电机 .....	11
2.3.3 其他可选器件 .....	11
<b>第 3 章 点亮发光二极管</b> .....	12
3.1 实验目的 .....	12
3.2 实验平台设置 .....	12
3.3 Simulink/Arduino 支持软件包和 Arduino 驱动器的安装 .....	13
3.3.1 Simulink/Arduino 支持软件包的安装 .....	13
3.3.2 Arduino 驱动器(Arduino Mega 2560 drivers)的安装和设置 .....	13
3.4 建立并在部署至硬件模式下运行 Simulink 模型 .....	14
3.4.1 建立 Simulink 模型的步骤 .....	14
3.4.2 在部署至硬件模式下运行 Simulink 模型 .....	15
3.4.3 纠错 .....	18
3.5 在外部模式下运行 Simulink 模型 .....	18
3.5.1 通过改变 PWM 参数改变发光二极管亮度 .....	18
3.5.2 外部运行模式的特点 .....	18
3.5.3 目标硬体的自由运行 .....	20



3.5.4 纠错 .....	21
3.6 在 Windows 8 系统上安装 Arduino 驱动器 .....	21
<b>第 4 章 模拟传感器与电机编码器数据的读取 .....</b>	<b>25</b>
4.1 实验平台(硬件).....	25
4.2 模拟信号的获取.....	25
4.2.1 模数转换器的背景知识 .....	25
4.2.2 用模拟输入电压控制 PWM .....	26
4.2.3 观测和问题 .....	27
4.3 电机编码器数据的读取.....	28
4.3.1 编码器的背景知识 .....	28
4.3.2 用编码器的输出控制 PWM .....	29
4.3.3 观测和问题 .....	29
<b>第 5 章 通过 I2C 总线读取陀螺仪和加速(度)计的数据 .....</b>	<b>30</b>
5.1 实验平台(硬件).....	30
5.2 陀螺仪信号数据的读取.....	30
5.2.1 陀螺仪的背景知识 .....	30
5.2.2 从陀螺仪及加速度计读取数据 .....	32
5.2.3 观测和问题 .....	35
5.3 根据陀螺仪数据计算陀螺仪所处的实验平台的角度.....	35
5.3.1 从陀螺仪获得角位置 .....	35
5.3.2 消除陀螺仪的误差 .....	36
5.3.3 问题和练习 .....	41
<b>第 6 章 数字罗盘(指南针)的制作 .....</b>	<b>42</b>
6.1 实验平台(硬件)设置.....	42
6.2 磁力计信号数据的读取.....	42
6.2.1 磁力计的背景知识 .....	42
6.2.2 从磁力计(HMC5883L)读取数据 .....	43
6.3 收集和分析磁力传感器数据.....	45
6.3.1 实验步骤 .....	46
6.3.2 用 MATLAB 进行数据分析 .....	46
6.4 在 Simulink 里实现罗盘校准算法 .....	50
6.4.1 建立实现罗盘校准算法的 Simulink 模型 .....	50
6.4.2 观测与练习 .....	50



<b>第 7 章 串行通信基础</b> .....	51
7.1 串行通信的背景知识 .....	51
7.2 实验平台(硬件)的设置 .....	53
7.3 从实验平台(Arduino)向计算机发送单字节数据 .....	53
7.4 在 Arduino 集成开发环境(IDE)下实现数据发送 .....	59
7.5 发送和接收含有多个字节的串行数据 .....	65
7.5.1 发送和接收单通道含有双字节的串行数据 .....	65
7.5.2 发送和接收双通道含有 4 个字节的串行数据 .....	69
7.6 用使用并集的 S-Function 发送 16 比特的整数和单精度浮点数 .....	71
7.6.1 用 Simulink 发送, MATLAB 程序读取 16 比特的整数 .....	72
7.6.2 用实验平台(Arduino)发送, MATLAB 程序读取单精度的浮点数 .....	73
7.7 用 MATLAB 读取串行数据 .....	75
<b>第 8 章 蓝牙通信</b> .....	81
8.1 实验平台(硬件)的设置 .....	81
8.2 蓝牙模块的安装及设置 .....	82
8.2.1 蓝牙通信的背景知识 .....	82
8.2.2 蓝牙模块的安装 .....	83
8.2.3 蓝牙设备及其设置 .....	83
8.3 通过回路试验测试蓝牙通信 .....	87
8.3.1 RealTerm 的设置 .....	87
8.3.2 蓝牙通信的回路测试 .....	89
8.4 接收蓝牙模块发送的数据 .....	90
8.4.1 建立向计算机发送数据的 Simulink 模型 .....	90
8.4.2 在部署至硬件模式下运行 Simulink 模型 .....	92
<b>第 9 章 直流电机的阶梯响应</b> .....	95
9.1 实验平台 .....	95
9.2 背景知识 .....	95
9.3 电机的阶梯响应 .....	97
9.3.1 建立 Simulink 模型 .....	98
9.3.2 通过 Simulink 的外部模式获得电机的阶梯响应 .....	98
9.4 通过串行口(串行通信)获得电机速度的阶梯响应 .....	101
9.4.1 Simulink 模型及其设置 .....	101
9.4.2 在外部模式和“部署至硬件”模式下获取电机响应 .....	102
9.5 控制电机的方向和速度 .....	104

9.5.1	Simulink 模型及其设置	104
9.5.2	电机的受控响应	107
9.6	直流电机阶梯响应的仿真	109
9.6.1	一阶及二阶直流电机模型的阶梯响应	109
9.6.2	Simulink 模型及其设置	109
9.6.3	电机仿真模型的运行	112
9.6.4	仿真结果及结果观察	113
9.6.5	考虑数字化和延迟效应时使用一阶系统的电机仿真	114
<b>第 10 章</b>	<b>直流电机控制的基本知识和途径</b>	<b>116</b>
10.1	实验平台(硬件)	116
10.2	电机位置的开环控制	117
10.2.1	Simulink 模型	117
10.2.2	获取数据	118
10.2.3	整理数据	119
10.2.4	用所得数据进行电机位置控制	121
10.2.5	结果讨论	123
10.3	电机位置的闭环反馈控制	123
10.3.1	比例控制器(proportional controller)	124
10.3.2	比例加积分控制器(proportional plus integral controller)	125
10.4	电机速度的开环控制	127
10.5	电机速度的闭环反馈控制	127
<b>第 11 章</b>	<b>实际应用环境下直流电机的仿真及速度控制</b>	<b>128</b>
11.1	实验平台(硬件)	128
11.2	理想的二阶直流电机模型的阶梯响应	129
11.3	用理想电机模型进行速度控制的仿真	132
11.4	饱和效应	135
11.5	控制的离散时间效应	136
11.6	控制的离散测量效应	139
11.7	控制的仿真结果与实际效果的比较	141
<b>第 12 章</b>	<b>根据加速度计和陀螺仪确定(实验平台)角度</b>	<b>148</b>
12.1	实验平台(硬件)及背景知识	148
12.2	从陀螺仪读数计算角位置	150
12.3	从加速度计读数计算角位置	151
12.4	采用互补滤波器	152

12.5 根据陀螺仪和加速度计的输出控制电机的(角)位置 .....	154
<b>附录 A Simulink/Arduino 硬件支持软件包的获取和安装 .....</b>	<b>157</b>
A.1 什么是 Simulink/Arduino 硬件支持软件包 .....	157
A.2 Simulink/Arduino 硬件支持软件包的安装方法 .....	157
A.2.1 准备工作 .....	157
A.2.2 Arduino 硬件 Simulink 支持软件包的在线安装 .....	158
A.2.3 Arduino 硬件 Simulink 支持软件包的离线安装 .....	161



# Simulink 与低成本

## 硬件开发平台

近十几年来,消费电子及工业控制市场上出现了众多的低成本硬件,从 Arduino、Raspberry Pi 到 Beagle Board、Lego Mindstorms 等。这些低成本硬件为工业应用设计工程师、业余爱好制作者,甚至复杂的科学实验的设计提供了许多非常吸引人的选项。我们在这里简单地回顾两个最具有代表性和广泛性的低成本硬件平台 Arduino 和 Raspberry Pi 的发展过程。

### 1.1 Arduino

2005 年,在一个美丽的名为爱吾丽(Ivrea)的意大利北部小镇诞生了现在已知的低成本硬件家庭的第一个成员——Arduino。这个有着碧绿湛蓝的波拉波缇(Bora Baltea)河蜿蜒其中的小镇因其短暂和失败的王国而闻名于世。公元 1002 年,国王 Arduin 成了这个国家的统治者。遗憾的是,他的王朝仅仅延续了两年就被德国的亨利二世推翻了。一千零三年以后,马西摩苯孜(Massimo Benzi)(在这个意大利小镇实施的一个工程教学项目的创始人之一)将他们项目的成果命名为 Arduino,以纪念他们那个千年之前的国王。

Arduino 是一个低成本、基于微控制器的设计开发平台。利用这个平台,即使是一个新手,也能做出很多令人不可思议的事情。它可以与各种各样的传感器以及其他器件,如发光器件、电机等相连,搭建成一个交互式的显示器或者一个移动机器人。Arduino 从作为爱吾丽意大利交互设计学院(Interactive Design Institute Ivrea, IDII)学生的一个简单低廉的学习工具开始,引领了微电子界“自己动手”(DIY)的风潮。这个小小的微控制器板已经成了许多艺术家、业余爱好者,甚至众多工程技术人员制作他们“梦中精品”的首选平台。

Arduino 是在应对如何快速地向学生传授微电子学知识这个艰巨的挑战过程中萌芽和发展的。2002 年,苯孜,一个留着胡子,有着谆谆长者风范的软件架构师,来到意大利交互设计学院,成为一名副教授,倡导新型的进行交互式设计的方式和方法。当时这是一个全新的,又被称为物理计算的领域。可是由于学院财务预算持续缩减,加之课堂教学时间有限,

他在教学工具的选择上并没有多少余地。他当时采用的教学平台是美国加利福尼亚州的帕罗莱克斯(Parallax)公司生产的一个基于微控制器的平台,名为 BASIC Stamp。这个平台采用 BASIC 编程语言,在一个很小的电路板上装有电源、微控制器、记忆存储器,以及连接硬件的输入和输出端口。苯孜很快就发现这个已经被工程师们使用了差不多十年的平台有两个基本问题:一是这个平台没有许多学生想做的设计项目所需要的计算能力;二是这个平台价格较高。这两个问题促使苯孜产生了开发一个满足他的教学需求的平台的想法,并开始实施这个项目。

苯孜的一个名叫荷南多博拉根(Hernando Barragan)的学生在这个方面跨出了第一步。他开发出了一个叫做 Writing 的样板平台。这个平台不但能够“即插即用”,也就是所谓的 plug-and-play,还包括了一个合乎用户口味(user-friendly)的集成开发环境(integrated development environment)。值得一提的是,由于具有良好的发展前景,这个平台的开发项目一直延续到今天。苯孜为这个平台的初步成功获得极大鼓舞,开始考虑开发一个更为简单、更为低廉、更易使用的平台。

苯孜的前瞻眼光,持续不断的艰苦努力促成了于 2005 年诞生的 Arduino。促使 Arduino 获得巨大成功的另一个重要原因是其采用的开源开发模式。

开源模式为软件的创新与发展提供了巨大动力。苯孜和他的同事们将软件开源模式的思想和方法移植到了硬件平台的开发和设计之上。他们在 Arduino 平台的开发设计过程中考虑了两个关键点:第一,平台必须采用容易买到、价格低廉的元器件;第二,平台必须具有“即插即用”的快速便利性。这样,使用者拿到 Arduino 平台后,只要用一根 USB 线缆将平台与计算机相连,就立即可以使用平台编程了。今天,Arduino 不再是只有单一电路板的开发平台,除了最早开发成功的 Arduino Uno 外,还有 Arduino Mega、Arduino Nano、Lily-Pad Arduino、Arduino Ethernet 等。

图 1-1~图 1-4 是几种常见的 Arduino 平台。本书介绍的实验均以 Arduino Mega 为基础。

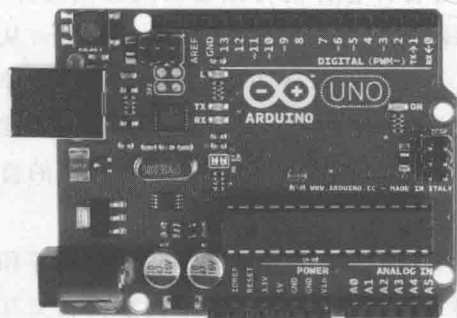


图 1-1 Arduino Uno 板

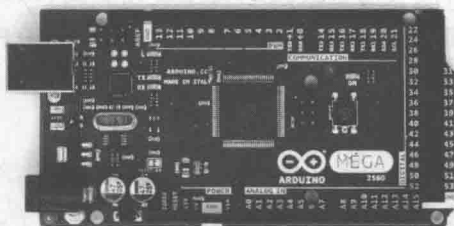


图 1-2 Arduino Mega 板

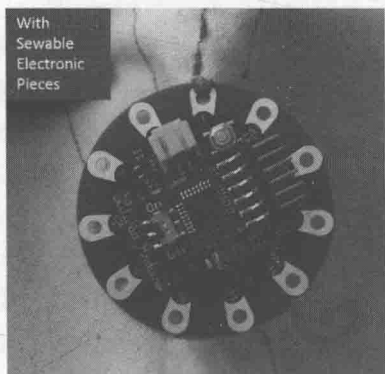


图 1-3 Lily-pad Arduino 板

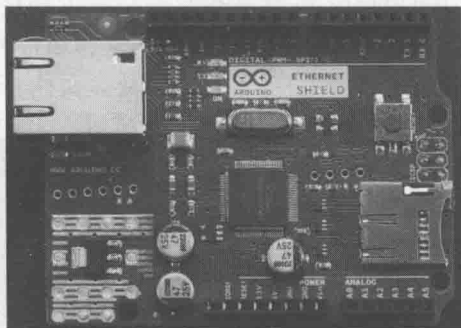


图 1-4 Arduino Ethernet 板

从 2011 年起,谷歌公司(Google)发布了一个采用 Android 系统的基于 Arduino 的开发套件 android accessory development kit。谷歌的 Android ADK 是一个让 Android 手机可以和电机、传感器及其他器件产生交互作用的平台。例如,你可以写一个 Android 应用(android app),让其使用手机的摄像头、运动传感器、触摸显示屏、互联网连接功能来控制一个显示屏或者一个机器人。Android 和 Arduino 的结合为 Arduino 平台开拓了更广泛和更深远的应用前景。

## 1.2 Raspberry Pi

在 Arduino 走上市场后不久的 2008 年,另一个低成本硬件领域的先驱者——埃本乌布彤(Eben Upton)被任命为英国剑桥大学圣琼斯学院计算科学系的学部主任。在去剑桥任职前,乌布彤已经成功地创办了两个软件公司,他认为自己事业的成功得益于幼年热衷动手,摆弄软、硬件。他觉得现在的大学生缺少这样的经历和经验。大多数学生对什么是科学计算知之甚少,他们把大多数空闲时间都花在了手机、计算机游戏和网络浏览上。到剑桥上任后不久,乌布彤就注意到了两个问题:一是申请学习计算机科学的学生不断减少;二是大学新生几乎没有任何计算机编程的技能。

为了解决这两个问题,乌布彤执意要设计一个价格低廉的微型计算机,以便让年轻的学生自己也有能力去购买一台计算机,并进而对计算机科学产生浓厚兴趣。乌布彤的努力产生了于 2012 年推出的 Raspberry Pi(树莓派)计算机。当 Raspberry Pi 刚刚推向市场时,乌布彤只指望能有几千台的销量,能成为中学生喜爱的“玩具”,进而能增加剑桥大学计算机系的生源。谁知 Raspberry Pi 一进入市场,需求就出现了爆炸性的增长,到 2014 年底 2015 年初,Raspberry Pi 就已经售出了 450 多万台。

Raspberry Pi 计算机采用 Linux 核心操作系统,支持 Raspbian、Ubuntu 等多种 Linux 系统。第二代的 Raspberry Pi 计算机还可以支持 OpenELEC、RISC 及视窗 Windows 10

IoT Core 操作系统。

Raspberry Pi 计算机只有信用卡那样大,如图 1-5 所示。外接上一个计算机显示屏或者电视以及标准的键盘和鼠标,就和通常的台式计算机一样,可以进行计算机编程、浏览互联网、播放高清电视、编写文字处理文件、玩计算机游戏等。

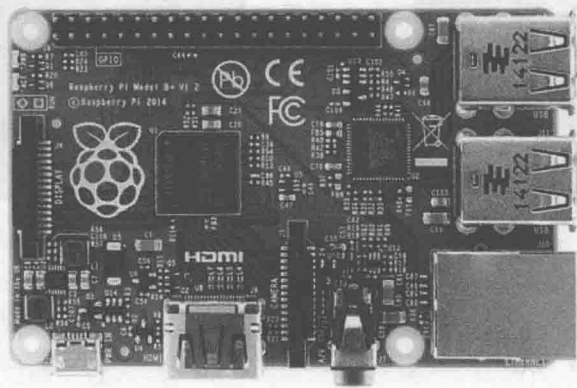


图 1-5 第二代树莓派(Raspberry Pi 2 Model B)计算机

Raspberry Pi 计算机也具有和外部世界相互作用的能力,如做成音乐机器、气象预测、预报台等。

### 1.3 Simulink 低成本硬件支持软件包

Arduino、Raspberry Pi 及其他低成本硬件平台在诸如传感与控制、计算机视觉、机器人等许多领域得到了广泛应用。激起了众多业余爱好者,创客,大、中学学生和工程技术人员开展技术发明,接触实物,动手实习的热情;由于成本低廉,方便实用,这些硬件平台使许多让学生进行实际操作、动手设计的实验教学项目得以实施;学生又通过这些实际动手,接触硬件的教学项目获得了第一手进行工程设计的经验,更深入理解了所涉及的物理、工程方面的理论,从而为他们的职业生涯奠定了坚实的理论和实践基础,开拓了更好的前景。

让学生涉足实际硬件,在实用环境下进行课程设计和其他教学项目是一个理想的教学方法和手段。这样的教学手段培养了学生解决真实的工程问题的能力。但是,这个教学方法也带来一个矛盾。一方面,学生需要在实际硬件上实现他们的工程设计,要与很多器件,甚至是很复杂的硬件、器件进行通信、数据传输,并对其进行操作、控制等;另一方面,大多数硬件、器件都是通过低层次的语言,如 C 语言、器件汇编语言,进行编程和控制的。与他们打交道就要花费大量的时间和精力了解与这些硬件、器件有关的细节,例如:器件与计算机进行通信所采用的通信协议;硬件芯片控制寄存器的定义,编程格式;通信协议的编程,接口通信的实现和验证等,并进行低层次语言的编程。这些工作往往会耗费学生大部分的



项目时间,分散学生对项目进行系统设计,项目的核心算法,项目背后所阐述的工程理论和原理的关注。这一矛盾同样困扰着众多的业余爱好者、创客和工程技术人员。因此,如何面对和解决这一矛盾就成了能否在教学中引入实际硬件,能否进行高效率地发明创造,能否快速地把设想变成实物的关键中的关键。

实际上,面对并解决这一矛盾一直是美国迈斯沃克(MathWorks)公司倡导和践行的“基于系统模型的工程设计(model based design)”思想的核心。近十年来,许多国防、航空航天、汽车、和数字通信等行业的著名高科技公司,如宝马、丰田、波音、苹果、爱立信等,纷纷接受“基于系统模型的工程设计”的思想,采用迈斯沃克公司的 MATLAB 和 Simulink 作为全公司进行系统仿真、设计、测试和验证的软件平台。

所谓基于系统模型的工程设计就是要在系统开发的不同阶段建立相应的系统模型,利用高层次的编程语言进行设计、仿真和系统实现,如图 1-6 所示。十几年来,迈斯沃克致力于在 Simulink 平台基础上,开发和推出满足这一要求的一系列系统设计工具。这些工具既包含各种先进的系统仿真环境,如实现模数混合仿真、多领域仿真、多采样率仿真等,也具有从 Simulink 模型自动生成 C 和 HDL(VHDL 或者 Verilog)代码的能力,而且提供与常用测试工具,如信号发生器、频谱分析仪、数据采集板等仪器进行数据交换的简单且一目了然的接口与通道,进而为实际系统的性能测试、设计验证、找错纠错提供方便高效的工作环境。使用这些设计工具,工程技术人员可以大幅度地提高工作效率,缩短设计时间,减少出错,缩短产品开发周期,真正做到设计更快、质量更高、成本更低、灵活性更大。

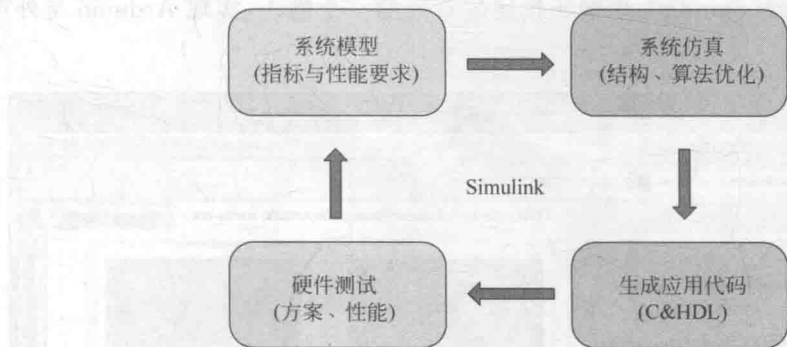


图 1-6 在 Simulink 平台上实现基于系统模型的工程设计

为了支持低成本硬件的普及和使用,支持采用低成本硬件的教学和创新,解决使用硬件时不可避免的一对矛盾,迈斯沃克公司将 Simulink 平台基础上的主要设计工具(包括代码生成工具)组成了与几个最流行的低成本硬件平台一一对应的 Simulink 支持软件包,供学生、创客和工程技术人员免费使用。

目前,迈斯沃克公司提供如下几个低成本硬件的支持软件包:

- (1) Arduino 支持软件包;
- (2) Raspberry Pi 支持软件包;

- (3) Beagle Board 支持软件包；
- (4) Beagle Bone Black 支持软件包；
- (5) Lego Mindstorms 支持软件包。

安装了这些支持软件包后,同时由 Simulink 基本模块库中的模块和支持软件包提供的模块组成的 Simulink 模型搭建完成后,只需要单击一个按钮,就可以直接在相应的硬件平台上运行。

## 1.4 关于 Arduino 支持软件包

本书的附录提供了下载和安装 Arduino 支持软件包的方法和步骤。在 Arduino 支持软件包安装成功后, Simulink 的模块库中就会增加一个如图 1-7 所示的名为 Simulink Support Package for Arduino Hardware 的子模块库。这个子模块库的“常用”文件夹内提供了 9 个模块,如图 1-8 所示。它们包括:从模拟或数字端口获取数据,或者向数字端口发送数据; PWM 的控制;与微控制器进行串行通信的设置与控制;等等。含有这些模块的 Simulink 模型在编译和生成代码时会生成与这些模块对应的可执行代码,并自动下载到 Arduino 的微控制器程序区以及相应的控制寄存器内。图 1-9 中给出的是一个模拟输入模块。如果把模拟输入端口数设置为 13,那么使用这个模块的 Simulink 模型在编译、代码生成时,将生成从这个模拟端口读取数值的代码并下载至微控制器。模型运行时,处于模拟输入端口 13 的信号就成为 Simulink 模型所描述的系统的一个输入,实现 Arduino 与外部世界的相互作用。

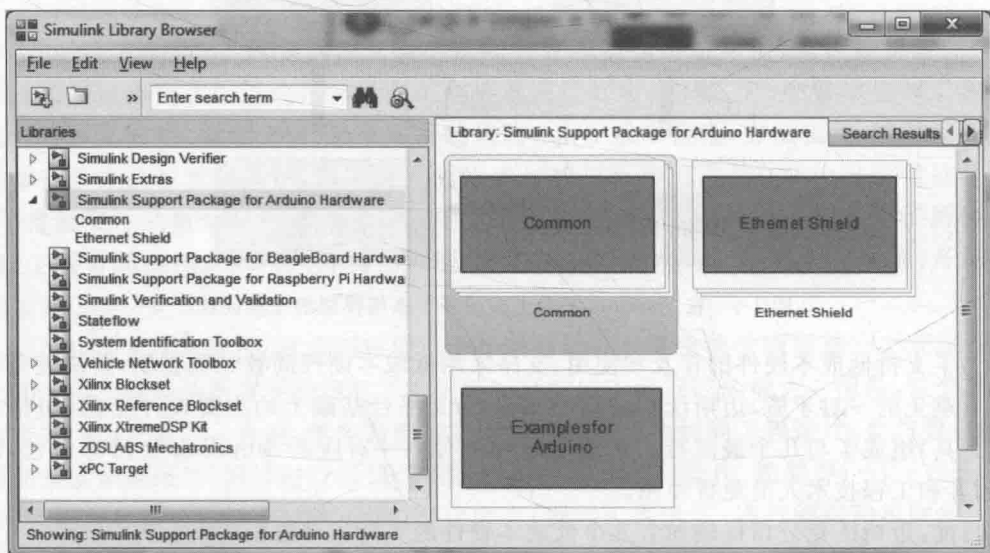


图 1-7 Simulink Support Package for Arduino Hardware 子模块库