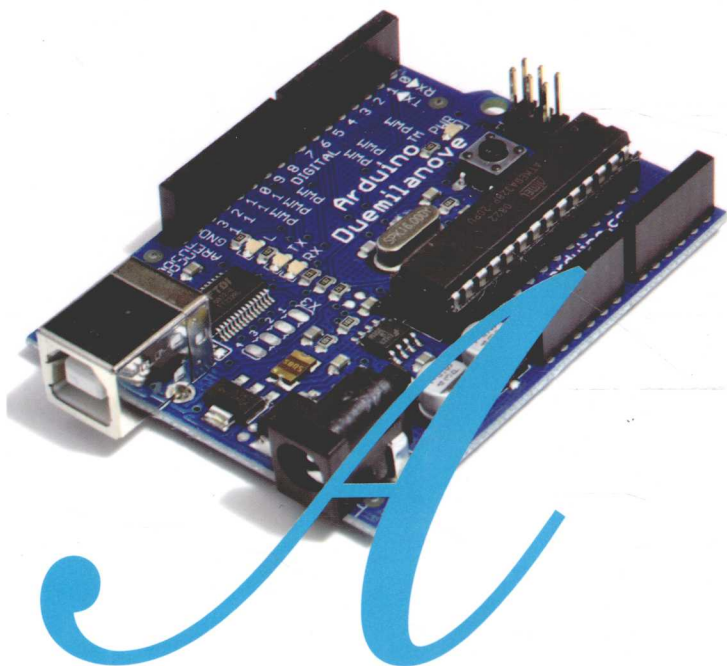


国内首部系统论述基于CDIO的Arduino软硬件协同设计的经典著作!  
北京邮电大学教育综合改革配套教材!  
中关村智能硬件产业联盟推荐用书!

清华

开发者书库



Practical Guide for the Software & Hardware  
Co-Design in Arduino Platform

# /// Arduino软硬件协同设计 实战指南

李永华 高英 陈青云◎编著

Li Yonghua

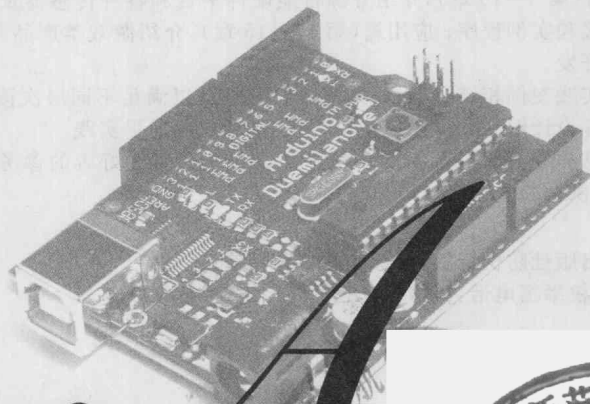
Gao Ying

Chen Qingyun



工程文件

清华大学出版社



Practical Guide for the Software & Hardware  
Co-Design in Arduino Platform

# Arduino软硬件协同设计 实战指南

李永华 高英 陈青云◎编著

Li Yonghua

Gao Ying

Chen Qingyun

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书以物联网和智能开源硬件的发展为背景,按照 CDIO 的产品设计与实现思路,系统地介绍了基于 Arduino 的硬件创新产品构思、设计、实现与运营。全书主要内容包括四个部分:构思篇(第 1~2 章),介绍常用的创新模式及常用的创新方法;设计篇(第 3~4 章),介绍创新产品的设计方法,包括软件设计方法和硬件设计方法;实现篇(第 5~10 章),介绍开源智能硬件平台和各种传感器及模块,并详尽介绍它们的功能、使用方法、电路连接和实例程序;应用篇(第 11~15 章),介绍游戏类产品开发、控制类产品开发、交互类产品开发和物联网开发。

本书将创新思维与实践案例相结合,由浅入深,循序渐进,以满足不同层次读者的学习需求;同时,本书提供了实际项目的硬件设计图和软件实现代码,便于读者快速动手实践。

本书可作为电子信息类专业的本科生教材,也可作为智能硬件爱好者的参考用书,还可为“创客”进行产品分析、设计与实现提供帮助。

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

Arduino 软硬件协同设计实战指南/李永华,高英,陈青云编著. —北京:清华大学出版社,2015  
(清华开发者书库)

ISBN 978-7-302-39542-3

I. ①A… II. ①李… ②高… ③陈… III. ①单片微型计算机—程序设计—指南 IV. ①TP368.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 041393 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:白 蕾

责任印制:沈 露

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>, 010-62775954

印 刷 者:清华大学印刷厂

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:22.75

字 数:510 千字

版 次:2015 年 6 月第 1 版

印 次:2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:59.00 元

产品编号:061638-01

# 序

## FOREWORD

2014年是物联网元年,智能硬件发展方兴未艾,其广泛用于家居、电器、工业控制等各个领域,而代表着个性化、定制化和智能化的工业4.0时代也已经悄悄来临。智能产品需要满足不同消费者的多样性需求,未来智能硬件的市场巨大,这为创客创新产品,自主创业提供了无限空间,必将形成大众创业、万众创新的发展局面。

那么,如何才能在未来的发展中占得先机,毫无疑问是拥有良好素质的人才,换言之,具有良好创新意识的创客就是未来社会发展的重要力量,创客的基本素质决定着未来产品的竞争力。所以,本书以产品的开发周期为主线,基于CDIO工程教育方法阐述了智能开源的软硬件协同设计过程,为高校大学生及广大智能硬件开发者提供了个性化、定制化和智能化产品快速实现的解决方法,从而培养面向智能硬件的创新型人才。

构思篇为思维与方法的概述,着重讨论了目前世界上先进的教学方法、创新模式和创新方法,包括工程教育方法,互联网创新模式和多种实践的创新方法,为构思良好的产品,提供指导方法和创新方式,通过创新方法得到创意产品的概念模型,为新产品的可行性及实用化打下良好的基础。

设计篇为创新构思提供了实际的设计工具,使得创新构思以实际的形式表现出来,本篇主要包括软件设计方法和硬件设计方法两部分,将为产品实现提供概要设计和详细设计,保证构思的产品能够顺利实现。

实现篇基于构思和设计的基础,对最终产品实现所需要的开源硬件以及各种元器件进行了介绍,包括开源平台、各种传感器和模块,从功能、使用方法、电路的连接和实例程序等方面进行讲解,以便迅速完成构思和设计的产品。

应用篇在前几篇的基础上,综合应用了各种技术,提高了产品的总体性能和可实现性,对于好的产品,可以实现产品的运营,本篇从四个方面的应用进行了介绍,包括游戏类开发、控制类开发、交互类开发和物联网开发。

本书是作者在科研和实践教学中的经验总结,一方面,作者目前的研究方向是物联网和智能硬件研发;另一方面,作者选取素材的角度也非常好,既有创新模式和方法的分析,也有产品设计、实现细节及程序代码实现的案例。

本书的内容十分丰富,无论是新手还是熟练开发人员,都能从书中找到有用的信息。针对当前快速发展的物联网及智能硬件产业,本书无疑提供了产品创意及实现的完整过程,通过 Arduino 开源硬件平台,可以快速上手智能硬件的研发,为高校本科生、创客和电子爱好者提供了很好的解决方案。最后,希望本书能够给读者带来帮助。

中关村智能硬件产业联盟

# 前言

## PREFACE

进入 21 世纪以来,信息技术的发展日新月异,移动互联网、物联网和智能硬件的快速发展给社会带来了巨大的冲击——个性化、定制化和时尚化的智能硬件设备已经成为未来发展的趋势。高等院校作为传播知识、科研创新、服务社会的重要机构,培养具有创新思维的现代化人才责无旁贷,而具有创新品质的优秀教材又是培养现代化人才的基础工具。

人类工业的发展已经从“大规模生产→电气化生产→自动化生产”发展到了工业 4.0 时代的“定制化生产”。不同的发展阶段对人才的需求是不同的,相应地,人才培养模式也应不断发展以满足需要。在工业 4.0 时代,工业产品以满足个性化、定制化和多元化的需求为目标,而采取 CDIO(Conceive-Design-Implement-Operate)工程教育方法,是培养适应工业 4.0 时代的创新人才的最佳途径之一。为此,作者依据 CDIO 的工程教育模式的教学经验,结合智能硬件的发展趋势,试图提炼出一本适合我国电子信息类专业高等教育现状、具有鲜明特色的创新实践教材。本书将实际教学中应用智能硬件(Arduino)的工程教学经验进行了系统总结,包括创新构思、产品设计、产品实现和具体应用,希望对教育同行有所帮助,起到抛砖引玉的作用。

本书系统地介绍了基于 Arduino 的创新产品构思、设计、实现与运营,主要内容包括四个部分。第一篇:构思篇(第 1~2 章),介绍常用的创新模式(Living Lab、TRIZ 和 Fab Lab),以及常用的创新方法(头脑风暴法、思维导图法、列举法、六顶思考帽法、移植法和设问法)。第二篇:设计篇(第 3~4 章),介绍创新产品的设计方法,包括软件设计方法(流程图、N-S 图、PAD 图、EDA 设计工具)和硬件设计方法(Fritzing、Virtual BreadBoard、Proteus、Eagle 等)。第三篇:实现篇(第 5~10 章),介绍开源智能硬件平台和各种传感器及模块,并详尽介绍它们的功能、使用方法、电路连接和实例程序。第四篇:应用篇(第 11~15 章),介绍游戏类产品开发、控制类产品开发、交互类产品开发和物联网开发。

本书的内容和素材来源,除了引用参考文献之外,主要来自于以下几方面的教学和研究工作:首先,作者所在的单位承担的教育部和北京市的教育改革项目及成果,在此特别感谢林家儒、纪阳、陆月明和吕铁军教授的鼎力支持和悉心指导;其次,作者指导的研究生在物联网和智能硬件方面的研究工作及成果,在此特别感谢杜展志、李森、李博和郭若沛同学的大力协助;最后,北京邮电大学信息工程专业的所有同学,通过基于 CDIO 工程教育方法的

实施,同学们创新产品的整个过程得到了实现,不但学到了知识,提高了能力,而且为本书提供了第一手素材和资料,在此,向信息工程专业的所有同学表示感谢!最后,我的父母妻儿给予了精神上的支持鼓励,向他们表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,衷心地希望各位读者多提宝贵意见,以便作者进一步修改和完善。

李永华

于北京邮电大学

2015年3月

# 目录

## CONTENTS

### 第一篇 构思篇

<b>第 1 章 CDIO 概述</b> .....	3
1.1 什么是 CDIO .....	4
1.2 CDIO 工程教育方法简介 .....	5
1.2.1 CDIO 课程大纲 .....	5
1.2.2 CDIO 方法标准 .....	6
1.2.3 CDIO 方法特点 .....	10
1.3 CDIO 在中国的发展 .....	11
1.4 CDIO 发展面临的问题 .....	14
<b>第 2 章 创新概述</b> .....	15
2.1 什么是创新 .....	15
2.2 创新模式 .....	16
2.2.1 Living Lab .....	17
2.2.2 TRIZ .....	20
2.2.3 Fab Lab .....	23
2.3 创新思维方法 .....	25
2.3.1 头脑风暴法 .....	25
2.3.2 思维导图法 .....	27
2.3.3 列举法 .....	27
2.3.4 六顶思考帽法 .....	29
2.3.5 移植法 .....	29
2.3.6 设问法、QFD 等创新方法 .....	30



## 第二篇 设计篇

<b>第3章 程序设计方法</b> .....	35
3.1 流程图 .....	35
3.1.1 流程图标准符号 .....	35
3.1.2 流程图基本结构 .....	37
3.2 N-S图 .....	38
3.3 PAD图 .....	40
<b>第4章 EDA设计工具</b> .....	42
4.1 Fritzing .....	42
4.1.1 软件简介 .....	42
4.1.2 软件用法简介 .....	51
4.1.3 Arduino 电路示例 .....	61
4.1.4 Arduino 样例支持与编程 .....	67
4.2 Virtual Breadboard .....	70
4.2.1 软件简介 .....	71
4.2.2 软件用法简介 .....	77
4.3 Proteus .....	80
4.3.1 软件简介 .....	80
4.3.2 软件用法简介 .....	84
4.3.3 Arduino 示例 .....	107
4.4 EAGLE .....	111
4.4.1 软件简介 .....	112
4.4.2 软件用法简介 .....	116
4.4.3 Arduino 元件库导入 .....	128

## 第三篇 实现篇

<b>第5章 开源硬件的概述</b> .....	137
5.1 开源硬件的概念 .....	137
5.2 主流开源硬件简介 .....	138
5.2.1 Arduino .....	138
5.2.2 Raspberry Pi .....	140
5.2.3 BeagleBone .....	140

5.2.4	Netduino	141
<b>第 6 章</b>	<b>Arduino 平台</b>	<b>143</b>
6.1	Arduino 的特点	143
6.2	Arduino 开发环境	143
6.2.1	Arduino IDE 的安装	143
6.2.2	Arduino IDE 的使用	146
6.3	编程语言	149
6.3.1	Arduino 编程基础	149
6.3.2	数字 I/O 口的操作函数	149
6.3.3	模拟 I/O 口的操作函数	150
6.3.4	高级 I/O PulseIn(pin, state, timeout)	151
6.3.5	时间函数	152
6.3.6	中断函数	154
6.3.7	串口通信函数	156
6.3.8	Arduino 的库函数	157
<b>第 7 章</b>	<b>Arduino 数据采集</b>	<b>159</b>
7.1	温湿度采集	159
7.1.1	原理	159
7.1.2	实验代码	159
7.2	水位采集	161
7.2.1	原理	161
7.2.2	实验代码	162
7.3	光强采集	162
7.3.1	原理	162
7.3.2	实验代码	164
7.4	气体传感器	165
7.4.1	原理	165
7.4.2	实验代码	166
7.5	超声波传感器	166
7.5.1	原理	166
7.5.2	实验代码	167
7.6	压力传感器	169
7.6.1	原理	169
7.6.2	实验代码	170

7.7	风速传感器 .....	171
7.7.1	原理 .....	171
7.7.2	实验代码 .....	171
7.8	拍照模块 .....	172
7.8.1	原理 .....	172
7.8.2	实验代码 .....	173
<b>第 8 章</b>	<b>Arduino 显示控制 .....</b>	<b>176</b>
8.1	LED .....	176
8.1.1	原理 .....	176
8.1.2	电路图 .....	177
8.1.3	实验代码 .....	177
8.2	数码管 .....	178
8.2.1	原理 .....	178
8.2.2	电路图 .....	178
8.2.3	实验代码 .....	180
8.3	点阵 .....	184
8.3.1	原理 .....	184
8.3.2	点阵的使用方法 .....	184
8.3.3	实验代码 .....	185
8.4	液晶 LCD .....	187
8.4.1	原理 .....	187
8.4.2	电路图 .....	187
8.4.3	引脚扩展 .....	189
8.4.4	实验代码 .....	189
<b>第 9 章</b>	<b>Arduino 电流控制 .....</b>	<b>194</b>
9.1	直流电机 .....	194
9.1.1	原理 .....	194
9.1.2	电路图 .....	195
9.1.3	实验代码 .....	195
9.2	步进电机 .....	196
9.2.1	原理 .....	196
9.2.2	电路图 .....	197
9.2.3	实验代码 .....	197

9.3	舵机	198
9.3.1	原理	198
9.3.2	电路图	198
9.3.3	实验代码	199
9.4	继电器	199
9.4.1	原理	199
9.4.2	电路图	200
9.4.3	实验代码	201
<b>第 10 章</b>	<b>Arduino 通信控制</b>	<b>202</b>
10.1	SPI 串口通信	202
10.1.1	原理	202
10.1.2	电路图及使用	202
10.1.3	实验代码	203
10.2	红外线通信	206
10.2.1	原理	206
10.2.2	电路图及使用	207
10.2.3	实验代码	207
10.3	RFID 通信	209
10.3.1	原理	209
10.3.2	电路图及使用	210
10.3.3	实验代码	210
10.4	Ethernet 通信	220
10.4.1	原理	220
10.4.2	电路图及使用	221
10.4.3	实验代码	222
10.5	WiFi 通信	228
10.5.1	原理	228
10.5.2	电路图及使用	229
10.5.3	实验代码	229
10.6	BlueTooth 通信	232
10.6.1	原理	232
10.6.2	电路图及使用	233
10.6.3	实验代码	234
10.7	XBee 通信	235

10.7.1	原理	235
10.7.2	电路图及使用	235
10.7.3	实验代码	238

## 第四篇 应用篇

<b>第 11 章</b>	<b>游戏类开发</b>	<b>243</b>
11.1	Jumping Pong	243
11.1.1	功能构思	243
11.1.2	设计原理	244
11.1.3	参考代码	246
11.2	打地鼠游戏机	261
11.2.1	功能构思	261
11.2.2	设计原理	261
11.2.3	参考代码	262
<b>第 12 章</b>	<b>控制类开发</b>	<b>265</b>
12.1	蓝牙控制智能车	265
12.1.1	功能构思	265
12.1.2	设计原理	265
12.1.3	参考代码	266
12.2	可抓取机械手臂	270
12.2.1	功能构思	270
12.2.2	设计原理	270
12.2.3	参考代码	271
<b>第 13 章</b>	<b>交互类开发</b>	<b>273</b>
13.1	虚拟架子鼓	273
13.1.1	功能构思	273
13.1.2	设计原理	273
13.1.3	参考代码	275
13.2	触摸按键交互设计	279
13.2.1	功能构思	279
13.2.2	设计原理	279
13.2.3	参考代码	281

第 14 章 物联网开发 .....	283
14.1 植物生长助手 .....	283
14.1.1 功能构思 .....	283
14.1.2 设计原理 .....	284
14.1.3 参考代码 .....	285
14.2 环境信息采集系统 .....	291
14.2.1 功能构思 .....	291
14.2.2 设计原理 .....	291
14.2.3 参考代码 .....	293
14.3 家居灯光控制系统 .....	298
14.3.1 功能构思 .....	298
14.3.2 设计原理 .....	298
14.3.3 参考代码 .....	299
第 15 章 智慧农业设计与开发 .....	301
15.1 简介 .....	301
15.2 系统逻辑结构图 .....	302
15.3 开发板选型 .....	303
15.3.1 开发板简介 .....	303
15.3.2 参考代码 .....	304
15.4 感知层的设计 .....	307
15.4.1 流程图 .....	308
15.4.2 Arduino 的 GET、POST 程序 .....	308
15.5 平台层的设计 .....	313
15.5.1 创建 RESTFul WCF 服务 .....	314
15.5.2 相关数据库设计 .....	316
15.5.3 平台数据接口开发 .....	318
15.5.4 Fiddler 测试 REST 服务 .....	319
15.5.5 编写平台图片数据接收 .....	321
15.5.6 Arduino 请求平台 .....	322
附录 A Fritzing 安装流程 .....	324
附录 B Virtual Breadboard 安装流程 .....	326

# 第一篇 构思篇



本篇为思维与方法的概述,着重讨论目前世界上先进的教学方法、创新模式和创新方法,包括工程教育方法、互联网创新模式和多种实践的创新方法。为构思良好的产品,提供指导方法和创新方式,是人类智慧最直接的体现。





## 第 1 章

# CDIO 概述

在教育教学发展过程中,如何进行教和学是一个问题的两个对立面,也就是“学”的方法与“教”的方法问题一直都会贯穿于教学过程中;同时,理论与实践如何相互促进也是工程教育争论的焦点之一,不同国家在不同的时期处理问题的方法也有所不同。而其中最重要的是工程教育不能忽视实践、经验等特性,即学生对课程的感性认识,这也是“工程”与“科学”、“工程师”与“科学家”之间的重要区别,只有这样才能使工程师在社会中发挥更大的作用。伴随着我国产业升级,信息化、智能化的快速发展,对工程师的实践能力的要求越来越高,所以,工程教育“回到实践”中的需求也更加强烈。

我国高等工科教育的迫切任务是尽快培养与国际接轨的中国工程师,然而我国工科的教育实践中还存在不少问题,如重理论轻实践、强调个人学术能力而忽视团队协作精神、重视知识学习而轻视开拓创新的培养等问题。研究表明,工程教育方法从 20 世纪开始,到当今社会已经产生了巨大的变革,如图 1-1 所示,在 1950 年以前,工程教育更多关注的是个人、人际交往和系统的构建能力,主要是培养实践的能力,从 1960 年之后,科学与实践并重,1980 年之后,更加注重对科学的教育,而 2000 年之后,又到了科学与实践教育并重的情况,而这是在 1960 年基础之上的更高层次的教育需求。

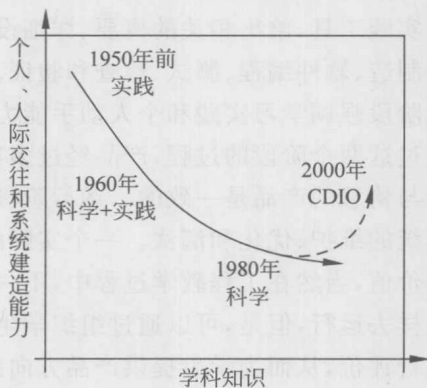


图 1-1 工程与科学知识之间的关系

基于 CDIO 工程的教育改革是当前国际上流行的方法,通过产品、过程和系统生命周期的工程教育方法,以工程项目生命周期全过程为载体,培养学生的工程能力,个人的职业道德、学术知识和运用知识解决问题能力,终身学习能力、团队工作能力、交流能力和大系统掌控能力。CDIO 培养大纲将工程毕业生的能力分为工程基础知识、个人能力、人际团队能力和工程系统能力四个层面,并以综合的培养方式使学生在这四个层面达到预定目标。